

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a
Komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021

Bc. Martin Černý



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A
ELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

**ÚPRAVA NAFTOVÉ ELEKTROCENTRÁLY PRO
PARALELNÍ CHOD SE SÍTÍ**

MODIFICATION OF A DIESEL GENERATOR FOR PARALLEL OPERATION WITH THE GRID

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Knobloch, Ph.D.

BRNO 2021



Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Martin Černý

ID: 189083 **Ročník:** 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Úprava naftové elektrocentrály pro paralelní chod se sítí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Realizujte úpravy navržené v předešlém semestrálním projektu.
2. Naprogramujte řídicí systém.
3. Provedte nastavení paralelního systému a otestujte jej v reálném provozu.
4. Vyhodnoťte výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] F. D. Petruzella, Programmable logic controllers, Fifth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, [2017].
- [2] J. Balátě, Automatické řízení, 2., přeprac. vyd. Praha: BEN, 2004.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Jan Knobloch, Ph.D.

doc. Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá úpravou naftové elektrocentrály, tak aby po nastartování a stabilizaci bylo možné elektrocentrálu přifázovat na tvrdou síť, případně na jinou elektrocentrálu z důvodu bezvýpadkového převzetí zátěže. Práce se zabývá kompletním řešením. Obsahuje popis jednotlivých částí, čidel a aktivních prvků soustrojí motor-generátor a vysvětlení jejich funkce. Dále se práce zabývá návrhem a vytvořením výkresové dokumentace s volbou vhodné řídicí jednotky pro daný systém. Nakonec práce řeší i kompletní realizaci projektu a otestování celého systému v reálném provozu.

Klíčová slova

Naftový motor, synchronní generátor, paralelní chod, fázování, synchronizace, elektrocentrála, řídicí jednotka, ComAp, motor-generátor

Abstract

This work applies the idea of adjustment an engine-generator, so it is possible to connect an engine-generator, or other type of a generator, to the electricity. Consequently, the machine can transform the power supply without an outage. This work concerns the complex approach, provides the descriptions of particular parts, sensors and active components of a motor-generator and includes the explanation of their function. Further research is focused on designing and drawing a plan with a choice of a control unit for the whole system. Finally, the work deals with the complex implementation and testing the machine in real operation.

Keywords

Diesel engine, synchronous generator, parallel operation, phasing, synchronization, generator, control unit, ComAp, engine-generator

Bibliografická citace

ČERNÝ, Martin. *Úprava naftové elektrocentrály pro paralelní chod se sítí* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133109>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Jan Knobloch.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Martin Černý*

VUT ID studenta: *189083*

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Úprava naftové elektrocentrály pro paralelní chod se sítí*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Knoblochovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne:

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
ÚVOD	12
1. ZÁLOŽNÍ ZDROJE	13
1.1 NAFTOVÉ A BENZÍNOVÉ ELEKTROCENTRÁLY	15
1.2 ZDROJE NEPŘERUŠOVANÉHO NAPÁJENÍ UPS	15
1.2.1 VFD – pasivní záloha (Off-line).....	16
1.2.2 VI – interakce se sítí (Line-interactive).....	16
1.2.3 VFI – Dvojitá konverze (Double-conversion).....	17
2. MOŽNOSTI PROVOZU SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU	18
2.1 NÁHRADNÍ SCHÉMA SYNCHRONNÍHO STROJE	18
2.2 SYNCHRONNÍ GENERÁTOR PRACUJÍCÍ V OSTROVNÍM REŽIMU	20
2.2.1 Charakteristika naprázdno $U_0(I_f)$ při $I = 0$ a $n = konst.$	20
2.2.2 Charakteristika nakrátko	20
2.2.3 Vnější charakteristika	22
2.3 SYNCHRONNÍ GENERÁTOR PRACUJÍCÍ DO SÍTĚ	23
2.3.1 Fázování.....	23
2.3.2 Možnosti fázování	24
2.3.3 Zatěžování synchronního generátoru pracujícího do sítě.....	24
3. SOUSTROJÍ	29
3.1 MOTOR.....	30
3.2 ALTERNÁTOR	31
4. ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA	32
4.1 ŘÍZENÍ SYSTÉMU	32
4.1.1 Řízení motoru.....	32
4.1.2 Řízení alternátoru	32
4.1.3 Řízení zásoku ATS	33
4.1.4 Doplnkové řízení	33
4.2 VOLBA ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	33
5. POPIS ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU COMAP	34
5.1 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM	34
5.2 ČIDLA A AKTIVNÍ PRVKY	36
5.2.1 Čidla.....	37
5.2.2 Aktivní prvky	37
5.3 APLIKACE.....	39
5.3.1 SPtM.....	39
5.3.2 SPI.....	39
5.3.3 MINT.....	39
5.4 GENCONFIG	40
5.4.1 I/O	40

5.4.2	Setpointy.....	40
6.	REALIZACE PROJEKTU	41
6.1	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	41
6.1.1	Jednopolové schéma zapojení	41
6.1.2	Reference napětí a měření proudů	42
6.1.1	Ovládací schéma motorových jističů	43
6.1.2	Ovládací napětí 24 VDC.....	47
6.1.3	Předeřev.....	48
6.2	ROZVÁDĚČ	48
6.2.1	Rozložení skříně	48
6.2.2	Drátování a ochrana proti dotyku živých částí	51
6.2.3	Uchycení rozváděče ke konstrukci soustrojí	51
6.3	PROGRAM COMAP.....	52
6.3.1	Nastavení GenConfig.....	52
6.3.2	Inteli Monitor.....	57
6.4	TESTOVÁNÍ SYSTÉMU	58
6.4.1	Spouštění GI	58
6.4.2	Test do zátěže v ostrovním režimu.....	59
6.4.3	Test do zátěže v paralelním režimu	67
6.4.4	Další testy	71
	ZÁVĚR	75
	LITERATURA.....	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Naftový generátor [1].....	15
1.2	VFD-pasivní záloha (Off-line) [2].....	16
1.3	VI-interakce se sítí (Line-interactive) [2].....	17
1.4	FVI-Dvojitá konverze (Double-conversion) [2].....	17
2.1	Obvodový model synchronního stroje [6].....	19
2.2	Fázorový diagram synchronního stroje [6].....	19
2.3	Charakteristika synchronního stroje naprázdno $U_0(I_f)$ [6].....	20
2.4	Charakteristika synchronního stroje naprázdno (horní) a nakrátko (spodní) [6].....	21
2.5	Fázorový diagram alternátoru a) přebuzený (zatížený indukčností) b) podbuzený (zatížený kapacitou) c) zatíženého odporově (účinník roven 1) [6].....	22
2.6	Vnější charakteristiky synchronního alternátoru pro různé velikosti účinníku [6].....	23
2.7	Fázorový diagram alternátoru [6].....	25
2.8	Fázorový diagram motoru [6].....	25
2.9	Provozní stavy synchronního stroje [6].....	26
2.10	Fázorový diagram proudů synchronního generátoru při konstantním činném výkonu [6,8].....	27
2.11	V-křivky synchronního stroje [8].....	28
3.1	Soustrojí motor-alternátor před úpravou se starým rozváděčem.....	29
3.2	Popis jednotlivých částí motoru Volvo Penta TAD740GE [9].....	30
5.1	Řídící jednotka ComAp IntelliGen NT BaseBox.....	34
5.2	Zobrazovací panel IntelliVision 5.....	35
5.3	Hardwarový klíč IGS-NT-LSM+PMS [14].....	35
5.4	Vlevo IG-AVRi-TRANS/LV a vpravo IG-AVRi.....	36
5.5	Regulátor otáček Volvo Penta 881616.....	37
5.6	Připojení regulátoru otáček EDS5111 k ŘJ a nastavení setpointů [7].....	38
5.7	Regulátor buzení Marelli AVR M40FA640A/A.....	38
5.8	Připojení regulátoru buzení Marelli AVR M40FA640A/A k ŘJ a nastavení setpointů [7].....	39
6.1	Jednopolové silové schéma zapojení.....	42
6.2	Měření napětí a proudu na výstupu z alternátoru.....	43
6.3	Ovládání jističe MCB.....	45
6.4	Ovládání jističe GCB.....	46
6.5	Napájení 24 VDC.....	47
6.6	První rozvržení přístrojů v rozváděči RATS.....	49
6.7	Zapojení silových obvodů.....	50
6.8	První a druhé patro rozváděče ATS.....	50
6.9	Vydrátovaný rozváděč s částečným zakrytím živých částí.....	51
6.10	Rozváděč uchycený na konstrukci soustrojí.....	52
6.11	Skupiny setpointů.....	55
6.12	PLC Editor – úprava programu.....	57
6.13	Externí GEN (<i>G EX</i> a <i>TI</i>) - vlevo, Odporová zátěž - uprostřed, <i>GI</i> - vpravo.....	60
6.14	Postupné zatěžování <i>GI</i> po 30 kW.....	62
6.15	Postupné odlehčování <i>GI</i> po 30 kW.....	63
6.16	Postupné zatěžování <i>GI</i> po 60 kW.....	64
6.17	Postupné odlehčování <i>GI</i> po 60 kW.....	65
6.18	Skokové zatížení a odlehčení <i>GI</i> po 120 kW.....	66
6.19	Přifázování <i>GI</i> na síť <i>TI</i> a vyrovnání zátěže.....	68
6.20	Paralelní chod <i>GI</i> a <i>TI</i> – přelévání zátěží pomocí setpointu <i>Import load</i>	69

6.21	Přebrání celé zátěže ze sítě <i>TI</i> na <i>GI</i> a odepnutí <i>MCB</i>	70
6.22	Začátek fázování při návratu na síť	72
6.23	Návrat na síť a předání zátěže	73

SEZNAM TABULEK

1.1	Přehled nejčastějších poruch v elektrické síti [3]	14
3.1	Vysvětlení označení motoru <i>TAD740GE</i> [9].....	30
3.2	Vysvětlivky k obr. 3.2	30
5.1	Seznam čidel motoru	37
6.1	Binární vstupy	53
6.2	Binární výstupy	54
6.3	Analogové vstupy.....	54
6.4	ProcCtrlSingle	55
6.5	Basic settings.....	56
6.6	Sync/Load ctrl	56
6.7	Volt/PF ctrl.....	56

ÚVOD

Od dob, kdy lidé poprvé začali experimentovat s elektřinou a vynalezli první generátory již uběhl poměrně dlouhý čas a naše nároky na spolehlivou dodávku elektrické energie vzrostly natolik, že v některých aplikacích je dnes už prakticky nepřípustné, aby dodávka nebyla spolehlivá a nesmí dojít ani ke krátkému výpadku. Někdy může při výpadku elektřiny dojít k vysokým finančním ztrátám. Například u výrobních linek velkých továren, nicméně například v nemocnicích můžou být během výpadku v sázce i životy.

Přestože je dnes dodávka elektrické energie na velmi dobré úrovni a jen zřídka kdy dochází k výpadku, je nutné na některých místech provozovat tzv. záložní zdroje. Těmito záložními zdroji se rozumí zdroj energie, který je nezávislý na distribuční síti, umí pracovat sám v ostrovním režimu a zvládne dodávat dostatečný výkon pro napájený objekt. Způsobů instalace a možnosti zásoku za distribuční síť je spousta. Základním stavebním kamenem takového zásoku je naftový, benzínový a dnes už běžně i plynový motor, doplněný o alternátor, který při výpadku distribuční sítě funguje jako generátor a tzv. zaskakuje za síť. V některých případech, pokud je požadován zások bez výpadku, může být dieselaagregát doplněn o *UPS*.

Tato práce se skládá ze tří částí. V první části práce seznámí čtenáře s tím, jakým způsobem dnes záložní zdroje fungují a jak se aplikují v praxi. Pro pochopení následujících částí jsou popsány podmínky a principy fázování dvou nezávislých zdrojů. Jedna z kapitol v této části se věnuje možnostem provozu synchronního generátoru, a to především z teoretické stránky.

Druhá část práce se již věnuje samotnému problému úpravy naftové elektrocentrály pro paralelní chod se sítí. Tato část obsahuje vtažení do tematiky a hlubší nástin samotného problému. Je zde popsáno konkrétní soustrojí, které bude v práci využito k úpravě. Konkrétně se jedná o motor značky Volvo a alternátor *Marelli Generators*.

Druhou část práce tvoří také popis jednotlivých čidel motoru a jejich funkce společně s popisem regulátoru otáček a buzení.

Tato část se také zabývá volbou řídicí jednotky a vysvětlením, z jakého důvodu je zvolena řídicí jednotka *ComAp*.

Třetí a zároveň poslední část práce obsahuje popis již samotného praktického řešení problému. Nejdříve jsou vysvětleny jednotlivé zásadní části výkresové dokumentace. Následuje popis sestavování a zapojování rozváděče. Důležitým krokem je popis, jakým způsobem je naprogramovaná řídicí jednotka, a nakonec je popsáno spouštění systému a jeho testování.

1. ZÁLOŽNÍ ZDROJE

Pro začátek si definujme, co to je tzv. záložní zdroj. Obecně se jedná o jakýkoliv zdroj elektrické energie, který je případě výpadku distribuční sítě schopen tuto síť nahradit po dobu nezbytně nutnou. To znamená, po dobu, kdy je distribuční síť nedostupná. Požadavky na samotné zálohování potom můžou být na různých místech odlišné. V zásadě je možné obecně rozdělit dvě základní aplikace:

- nepřetržitá záloha sítě
- a záloha sítě s výpadkem elektrické energie.

Základním stavebním kamenem záložního zdroje je naftový, benzínový nebo plynový motor doplněný o synchronní nebo asynchronní alternátor na jeho hřídeli. Součástí je i řídicí jednotka, naprogramovaná tak, že při výpadku distribuční sítě posílá povel pro start motoru a po indikaci napětí na svorkách generátoru dochází k přepnutí stykačů nebo jističů ovládaných motorovým pohonem. Takovým způsobem může fungovat jednoduchý záskok distribuční sítě.

Pro bezvýpadkové zálohování se nabízí druhá možnost. *UPS*, jejíž princip je založen na zálohování pomocí baterií. Záložní zdroje *UPS* fungují tak, že na vstup je přivedeno napětí z distribuční sítě a *UPS* funguje v podstatě jako AC/DC/AC. Záloha sítě probíhá bez výpadku, protože *UPS* vytváří na výstupu vlastní síť a při výpadku distribuční sítě zátěž rovnou přebírají baterie měnič. Pozor, ne vždy, tato analogie *UPS* jako měnič je použita pouze pro zjednodušení a pochopení problému.

Oba výše popsané principy jsou možné, nicméně ani jeden není úplně dokonalý. Při použití samotného *GEN* není možné provozovat síť bez výpadku a vždy při výpadku sítě a přepínání stykačů nastane několik vteřin černé místo bez dodávky elektrické energie než nastartuje motor a generátor převezme zátěž. Druhou možností při použití *UPS* je nepřetržitá dodávka elektrické energie zaručena, nicméně záleží na odebíraném výkonu a tím pádem na množství a kapacitě baterií, a protože jsou baterie drahé a jejich životnost je poměrně krátká (v řádech několika let), tak není žádoucí použít baterií příliš. Pokud je tedy nutné zajistit zálohu sítě na delší dobu při výpadku, tak je nutné využít kombinaci *GEN* a *UPS*, kdy při výpadku zátěž převezme *UPS* a po startu *GEN* bude synchronní alternátor přes usměrňovač dobíjet baterie v *UPS*.

Existuje ovšem mnoho různých variant a požadavků, ne vždy je nutné ze zálohy napájet veškeré zařízení v objektu, proto se *UPS* umísťuje jen za ty nejdůležitější systémy a zbytek buď po startu převezme *GEN* nebo je při výpadku jednoduše bez napájení. Je dobré zde zmínit, že existují i další druhy záložních zdrojů, jako jsou rotační *UPS*, *CBS* nebo některé speciální generátory s asynchronním motorem. Nicméně tyto systémy už jsou velmi specifické a tato práce se jimi zabývat nebude.

Distribuční síť není nutné nahrazovat pouze v případě výpadku, ale i v jiných případech, pokud dojde k různým poruchám sítě. Nejčastější poruchy jsou sepsány v *tabulce 1.1*.

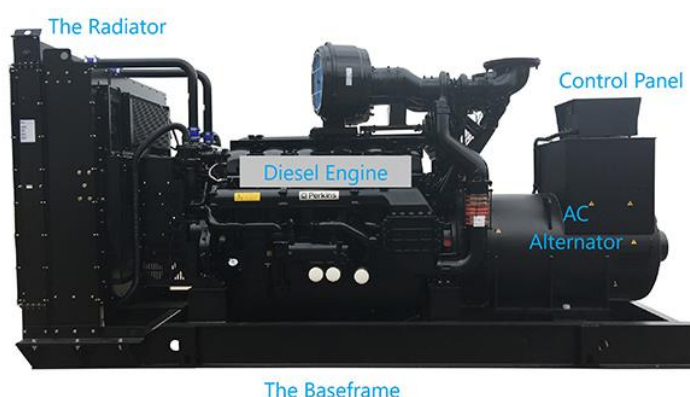
Tabulka 1.1 Přehled nejčastějších poruch v elektrické síti [3]

Porucha sítě	Charakteristika	Příčiny	Důsledky
Výpadek elektrického napájení	Úplná ztráta napětí	Atmosférické poruchy, spínání, práce na rozvodech	Ztráta počítačových dat, zastavení výroby a činnosti
Přechodový pokles napětí	Náhlé snížení napětí v rozsahu 10 % až 100 % v trvání od 10 ms do několika sekund	Atmosférické jevy, změny zatížení, zkraty v rozvodech	Nesprávná činnost HW, ztráta počítačových dat, výpadky SW
Napěťové špičky	Náhlé, velmi krátké zvýšení napětí	Atmosférické poruchy (bouřky), indukční pece	Trvalé poškození zařízení, zrychlené stárnutí nebo selhání prvků, průraz izolace
Podpětí	Dlouhodobé snížení napětí v trvání nad několik sekund	Spínání velkých spotřebičů, přetížení motorgenerátorů	Nesprávné funkce HW, nahodilé resetování HW, ztráta počítačových dat
Přepětí	Dlouhodobé zvýšení napětí v trvání nad několik sekund	Spínání jistých prvků, rozběh motorů	Přehřívání a předčasné stárnutí prvků a zařízení
Přechodové jevy	Velký nárůst rušení po dobu přechodového jevu	Skokové připnutí a odepnutí zátěže, výtahy, svařovací automaty	Nesprávná činnost HW a SW
Indukovaný šum	Rušení elektromagnetického a elektrostatického původu v prostoru a ve vodičích	Spínání výkonových polovodičových prvků, elektrostatické vybíjení	Poruchy funkce a činnosti zařízení
Kolísání frekvence	Frekvence kolísá více než 50 Hz \pm 5 %	Regulace motorgenerátoru	Nesouhlasí s tolerance některých přístrojů, ztráta dat počítačů
Naindukování harmonických frekvencí	Vyšší harmonické frekvence superponované na základní sinusové vlně	Magnetická jádra elektrických strojů, spínané zdroje, obloukové pece	Předimenzování HW, přehřívání, rezonance s kondenzátory, poškození zařízení

1.1 Naftové a benzinové elektrocentrály

Jak již z názvu plyne, základem tohoto zařízení je naftový nebo benzinový motor. Benzinové motory se používají pouze pro velmi malé výkony cca do 30 kW. Často se také benzinové motory používají pro malé přenosné elektrocentrály. Pokud je nutno vyššího výkonu, používá se motor naftový. Naftové generátory existují od malých výkonů, řádově kW až do výkonů několika MW.

Tento motor je na hřídeli doplněn o synchronní alternátor a systém potom pracuje stejným způsobem, jako generátory v elektrárnách, s tím rozdílem že namísto turbíny je pohonem pro alternátor použitý motor.



Obrázek 1.1 Naftový generátor [1]

Na *obrázku 1.1* je vidět příklad moderního naftového generátoru s jednoduchým popisem základních částí. Základní částí je, jak už bylo řečeno výše, naftový motor (Diesel Engine). Dále se na hřídeli nachází Synchronní alternátor (AC Alternator) a v tomto případě nad alternátorem leží řídicí jednotka systému (Control Panel). Tato jednotka slouží k aplikacím spojeným s veškerým řízením motoru a alternátoru. Zajišťuje start a zastavení motoru, pomocí čidel hlídá teploty a tlaky oleje, vody a v neposlední řadě nastavuje otáčky motoru. U starších motorů, které *ŘJ* nemají je pro regulaci otáček použit mechanický regulátor a další úkony související s řízením jsou prováděny pomocí relé a stykačů. Třetí důležitá součást, kterou můžeme na obrázku vidět je chlazení (The Radiator).

1.2 Zdroje nepřerušovaného napájení UPS

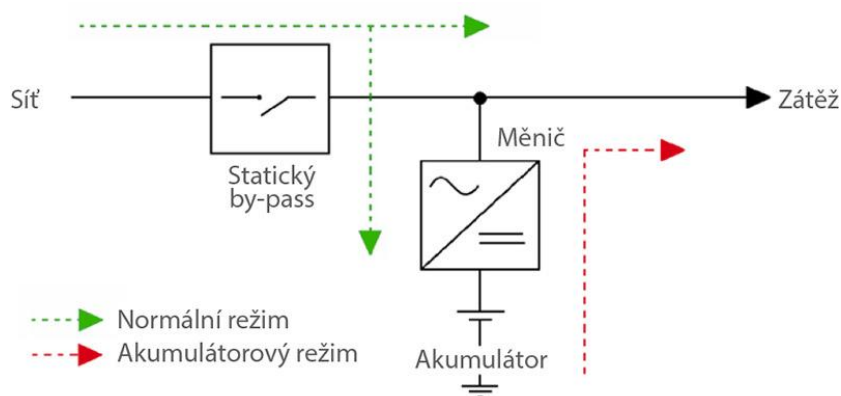
UPS se použije všude tam, kde je požadavek na nepřetržité napájení tzn. bez výpadku el. energie. Základem jsou olověné baterie zapojené do série v tzv. větvích. Větví potom může být více a ty jsou k sobě spojeny paralelně. Při výpadku elektrické sítě *UPS* funguje tak, že z baterií pomocí DC/AC měniče vytváří novou síť. Doba, po kterou *UPS* může

zálohovat, se odvíjí od několika faktorů. Záleží na odebíraném výkonu, velikosti a kapacitě baterií. Při návratu sítě se potom baterie pomocí AC/DC usměrňovače dobíjí. Často se *UPS* používá také tam, kde je požadavek na úpravu a filtraci sítě.

UPS můžeme v podstatě rozdělit do tří základních kategorií – Pasivní záloha (Off-line), Interakce se sítí (Line-interactive) a Dvojitá konverze (Double conversion) [2]

1.2.1 VFD – pasivní záloha (Off-line)

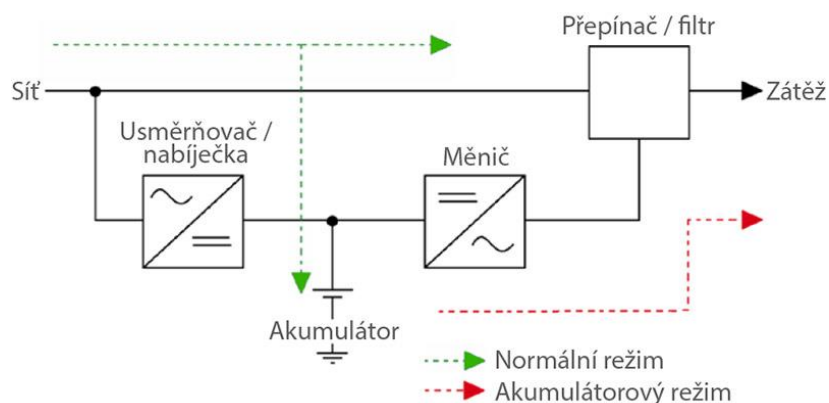
První kategorií jsou jednodušší *UPS*, které často nedosahují vysokých výkonů a používají se například v kancelářích, pro zálohu počítačů. Fungují takovým způsobem, že na vstup je přivedeno napětí, které je provedeno skrze a na výstupu je to stejné napětí. Při výpadku potom dojde k rychlému přepnutí na DC/AC měnič. Tyto *UPS* mají v podstatě dvě zásadní nevýhody. První spočívá v tom, že při přechodu na zálohu dojde k mikrovýpadku, který může trvat několik ms. Ta druhá nevýhoda je, že *UPS* nijak nefiltruje síť a na výstupu je ta stejná síť jako na vstupu [2].



Obrázek 1.2 VFD-pasivní záloha (Off-line) [2]

1.2.2 VI – interakce se sítí (Line-interactive)

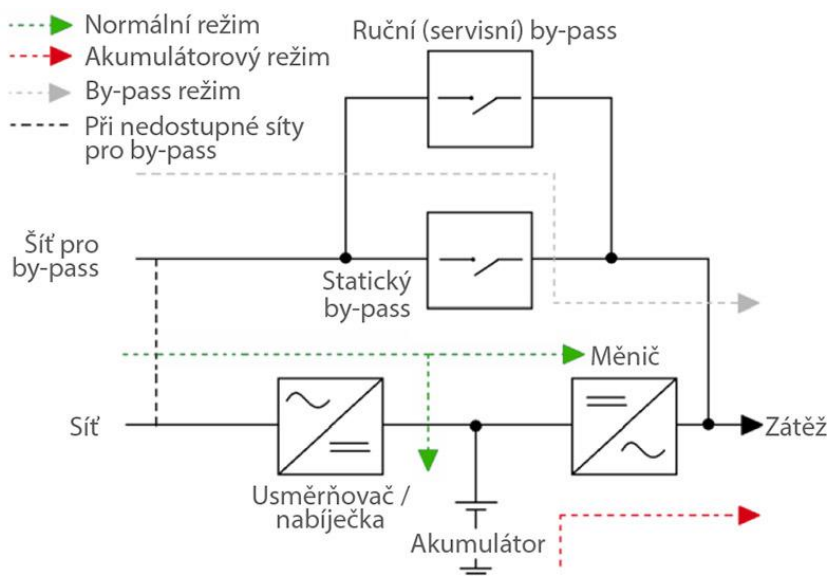
Tato kategorie *UPS* má výhodu oproti prvnímu typu, že má možnost upravovat síť na vstupu a na výstup už přichází filtrované napětí. Výhodou tohoto typu je to, že má možnost vyrovnávat podpětí, případně přepětí pomocí odbočkového transformátoru, který obsahuje a není zde nutné využití baterií. Nevýhodou tohoto typu je potom nemožnost upravovat frekvenci oproti síti. *UPS* také obsahuje by-pass, ten je žádaný zejména při poruše některé z elektronických částí, protože *UPS* může napájet v tento moment objekt přímo ze sítě [2].



Obrázek 1.3 VI-interakce se sítí (Line-interactive) [2]

1.2.3 VFI – Dvojitá konverze (Double-conversion)

UPS vyšších výkonů fungují takovým způsobem, že přivedené napětí na vstup je nejprve prohnáno filtry, následně se usměrní AC/DC usměrňovačem a potom nazpět invertorem DC/AC. Výpadek zde vůbec nenastává, protože baterie převezmou síť okamžitě. Často *UPS* také obsahují by-pass, pomocí něhož je možné obejít elektroniku v *UPS* a posílat na výstup přímo napětí ze vstupu. Bypass je výhodný především ve chvíli, kdy je nutno na *UPS* provádět servis, případně pokud nastane na *UPS* porucha, může přepnout na bypass a objekt je stále zálohován. Narozdíl od předchozích dvou typů je však tento typ mnohem nákladnější [2].



Obrázek 1.4 FVI-Dvojitá konverze (Double-conversion) [2]

2. MOŽNOSTI PROVOZU SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU

2.1 Náhradní schéma synchronního stroje

Pro určování stavů a jednotlivých veličin v synchronním stroji se používá obvodový model synchronního stroje nebo také náhradní schéma.

Pokud uvažujeme o synchronním motoru, je jeho statorové vinutí připojeno ke zdroji střídavého napětí a rotorové vinutí napájeno stejnosměrným budícím proudem. V každé fázi stroje se následně indukuje napětí buzené stejnosměrným budícím proudem. Rozdíl svorkového napětí a celkového indukovaného napětí vytvoří proud I [6].

Stroj s třífázovým souměrným vinutím kotvy s hladkým rotorem nenasyceným magnetickým obvodem, pro který platí [6]:

Napěťová rovnice pro stator:

$$\hat{U} = R \cdot \hat{I} + jX_{\sigma} \cdot \hat{I} + \hat{U}_{if}, \quad (2.1)$$

Napěťová rovnice pro rotor:

$$U_f = R_f \cdot I_f, \quad (2.2)$$

Magnetické pole synchronního stroje je buzeno magnetoelektrickým napětím, které se skládá ze dvou složek [6]:

- Složka vyvolaná střídavým proudem procházejícím statorovým vinutím, které vytváří točivé pole [6].
- Složka vyvolaná stejnosměrným budícím proudem procházejícím rotorovým vinutím, které se otáčí synchronními otáčkami [6].

Následně vzniká fiktivní magnetizační proud I_{μ} , který je dán vektorovým součtem těchto dvou proudů. Jeden z těchto proudů je však nutno přepočítat. Většinou se přepočítává proud statorový na stranu rotoru [6].

Proudy:

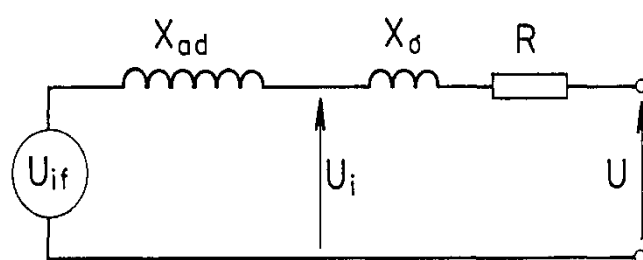
$$\hat{I}_{\mu} = \hat{I}' + \hat{I}_f, \quad (2.3)$$

\hat{U} ... svorkové napětí stroje

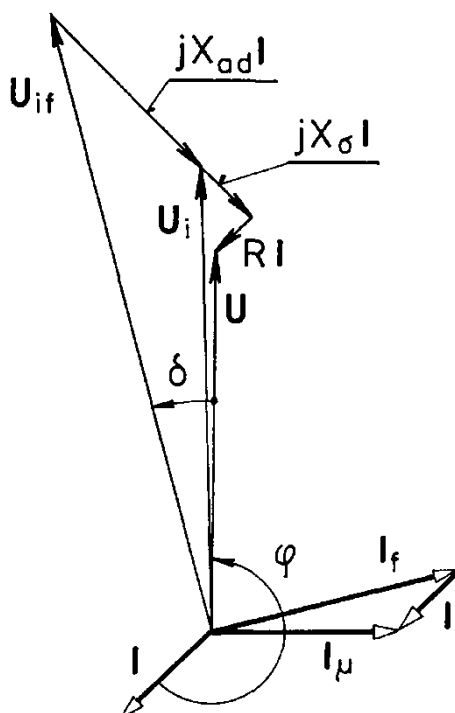
\hat{U}_i ... vnitřní indukované napětí

\hat{U}_{if} ... celkové indukované napětí

- X_σ ... rozptylová reaktance
 X_{ad} ... magnetizační reaktance
 R ... odpor vinutí kotvy
 \hat{I} ... proud jedné fáze statoru
 U_f ... budící napětí
 R_f ... odpor buzení
 I_f ... budící proud
 \hat{I}_μ ... výsledný fiktivní magnetizační proud
 \hat{I}' ... proud statoru přepočítaný na stranu rotoru
 \hat{I}_f ... budící proud



Obrázek 2.1 Obvodový model synchronního stroje [6]



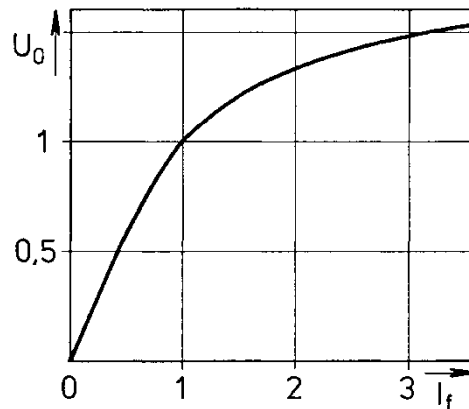
Obrázek 2.2 Fázorový diagram synchronního stroje [6]

2.2 Synchronní generátor pracující v ostrovním režimu

Tento stav nastává ve chvíli, kdy synchronní generátor pracuje samostatně, bez žádných jiných zdrojů, připojených paralelně. Pro rozběh alternátoru u naftových nebo benzinových elektrocentrál se používá malý stejnosměrný motor, pomocí kterého se stroj roztočí a rozběhne na jmenovité synchronní otáčky. Následně se nabudí a je možné jej začít postupně zatěžovat [6]. Pokud je zátěž příliš velká, je dobré zatěžovat stroj postupným připínáním zátěží po menších částech.

Pro udržení konstantního výstupního napětí je nutné regulovat budicí proud. Konstantní otáčky potom udržuje naftový nebo benzinový motor pomocí regulátoru otáček.

2.2.1 Charakteristika naprázdno $U_0(I_f)$ při $I = 0$ a $n = konst.$



Obrázek 2.3 Charakteristika synchronního stroje naprázdno $U_0(I_f)$ [6]

U_0 ... napětí naprázdno

I_f ... budicí proud

I ... statorový proud

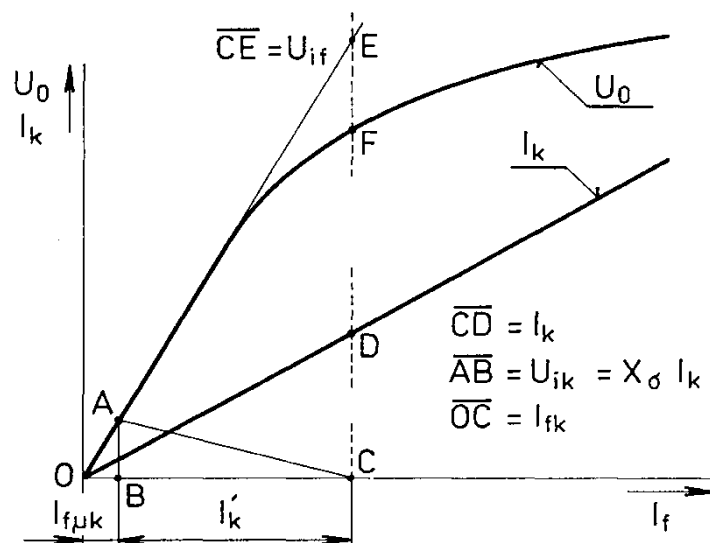
n ... otáčky stroje

Tato charakteristika vyjadřuje základní magnetické vlastnosti synchronního stroje a měří se ve stavu, kdy je rozpojený statorový obvod ($I=0$) a stroj se otáčí synchronními otáčkami ($n=konst.$) [6].

2.2.2 Charakteristika nakrátko

Pomocí charakteristiky nakrátko je možné určovat některé parametry synchronního stroje [6].

Měření nakrátko se provádí takovým způsobem, že se synchronním strojem otáčí synchronními otáčkami a zároveň se měří velikost budícího proudu I_f a proudy v jednotlivých fázích statoru, které jsou spojeny nakrátko, a to přibližně do hodnoty $I_k = 1,2 I_N$ [6].



Obrázek 2.4 Charakteristika synchronního stroje naprázdno (horní) a nakrátko (spodní) [6]

U_0 ... napětí naprázdno

I_f ... budící proud

I ... statorový proud

I_k ... proud nakrátko

n ... otáčky stroje

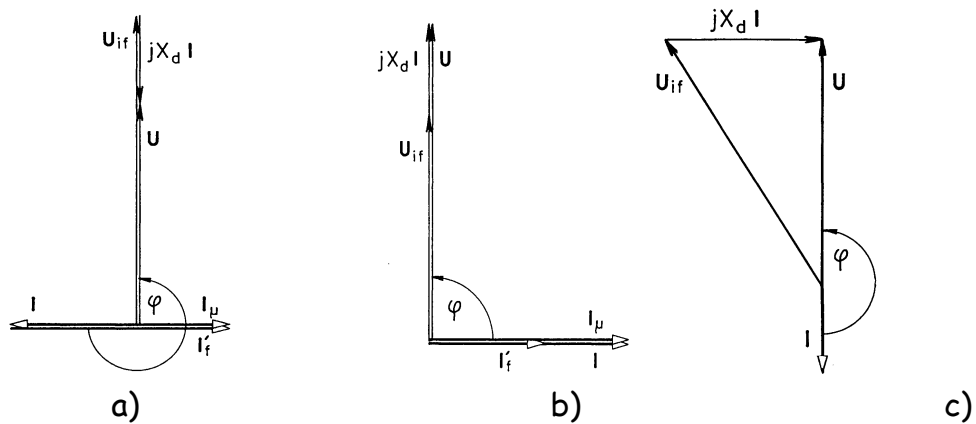
2.2.3 Vnější charakteristika

Pomocí této charakteristiky se určuje změna napětí na svorkách alternátoru, která závisí na proudu, který generátor dodává do zátěže [6]. Pro následující charakteristiky bylo provedeno zjednodušení. Konkrétně byly reaktance X_{ad} a X_σ nahrazeny celkovou reaktancí stroje X_d a úbytek napětí na odporu R byl zanedbán, z toho důvodu že je oproti celkové reaktanci stroje o mnoho menší [8].

Pro generátor pracující samostatně v ostrovním režimu následně platí rovnice:

$$\hat{U} = jX_d \cdot \hat{I} + \hat{U}_{if}, \quad (2.4)$$

Z rovnice 2.4 a pomocí obvodového modelu *obrázek 2.1* po připojení jednotlivých zátěží (induktivní zatížení, kapacitní zatížení, zatížení rezistorem) byly sestaveny následující fázorové diagramy.

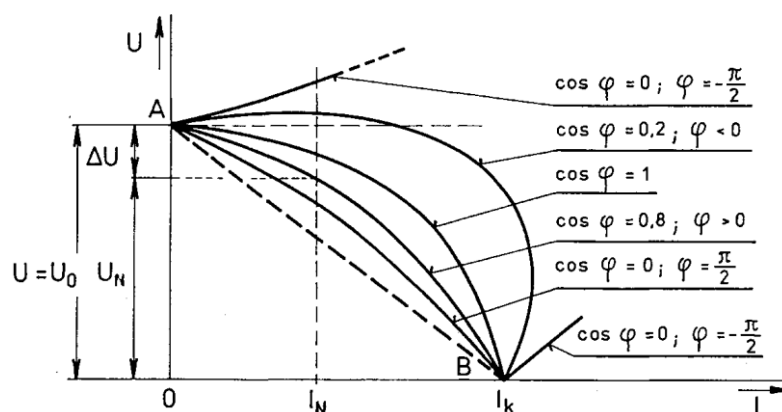


Obrázek 2.5 Fázorový diagram alternátoru a) přebuzený (zatížený indukčností) b) podbuzený (zatížený kapacitou) c) zatíženého odporově (účinník roven 1) [6]

Pokud je požadavek konstantního výstupního napětí U je nutné v případě zatížení generátoru induktivní nebo odporovou zátěží generátor přibudit. Zvýšit budící proud I_f - *obrázek 2.5 a) a c)* [8].

Jestliže je generátor zatížen čistě odporovou zátěží, znamená to, že $\cos\varphi=1$, tak proud satoru se nachází v opačné fázi oproti napětí a vzhledem k posunu bude $jX_d \cdot I$ k tomuto proudu otočené kolmo [6].

Pokud za stejného předpokladu konstantního výstupního napětí U bude generátor zatížen kapacitní zátěží, je nutné generátor odbudit. Snížit budící proud I_f – *obrázek 2.5 b)* [8].



Obrázek 2.6 Vnější charakteristiky synchronního alternátoru pro různé velikosti účinníku [6]

Na obrázku 2.6 jsou vnější charakteristiky synchronního alternátoru pro různé velikosti účinníků. Všechny charakteristiky se potkávají v bodech A a B. Bodem A prochází při stavu naprázdno a bodem B při stavu nakrátko [6].

2.3 Synchronní generátor pracující do sítě

2.3.1 Fázování

V některých aplikacích je nutné generátor přifázovat do sítě. Pokud hovoříme konkrétně o problému, který řeší tato práce, existují dva důvody:

- Aby při návratu sítě po její nepřítomnosti a přepínání stykačů napětí nedošlo opět ke krátkému výpadku.
- Pokud existuje požadavek na paralelní chod například z důvodu vysoké zátěže nebo vykrývání špičkových odběrů.

V praxi to funguje tak, že v první fázi, kdy síť není přítomná, je DA v chodu a zálohuje daný objekt. Následně dochází k návratu sítě, ale nenastává přepínání stykačů, nýbrž dojde k vyhodnocení návratu sítě ŘJ a pomocí úpravy otáček DA dojde k přifázování generátoru na tvrdou síť a přechod je tím pádem bez výpadku.

Pokud je instalováno více DA paralelně, systém funguje tak, že při výpadku startují všechny instalované motory a po stabilizaci se generátory zřazují dohromady. Následně, podle aktuálně odebíraného výkonu zůstanou v běhu jen ty, které jsou nezbytné.

Při fázování dvou nezávislých zdrojů je nutné dodržet několik podmínek.

Podmínky fázování:

- Stejný tvar průběhu napětí
- Souhlasný sled fází sítě a alternátoru
- Stejný kmitočet sítě i alternátoru
- Stejně napětí sítě i alternátoru

- Napětí sítě i alternátoru musí být v okamžik připojení alternátoru na síť shodné (ve fázi)

2.3.2 Možnosti fázování

Existuje několik možností, jak přifázovat generátor do tvrdé sítě, případně do jiného nezávislého zdroje střídavého napětí. Některé se používají například v laboratořích pro svou názornost a demonstraci (fázování na tmu a fázování na světlo). Všechny způsoby jsou ale založeny na stejném principu, a tím je měření rozdílu napětí mezi generátorem a sítí. U některých způsobů je měřena i frekvence, což může přifázování výrazně urychlit.

Fázování na tmu

Fázování funguje tak, že jsou mezi svorky jednotlivých fází sítě a svorky jednotlivých fází generátoru zapojeny žárovky, které se společně postupně rozsvěcují a pohasínají. V okamžiku, kdy jsou všechny žárovky pohaslé, je rozdíl mezi napětím generátoru a napětím sítě nulový a můžeme generátor do sítě připnout.

Fázování na světlo

Stejně jako u fázování na tmu se zde využívá žárovek. Narozdíl od fázování na tmu je zde ale žárovek šest. Na první fázi jsou připojené dvě žárovky sériově a u druhé a třetí fáze jsou žárovky zapojeny do kříže. V momentě, kdy žárovky na první fázi zhasnou a ostatní zůstanou slabě svítit, tak jako kdyby po nich světlo obíhalo v kruhu, je moment, kdy můžeme generátor připojit do sítě. Podle směru otáčení světelného kruhu můžeme zjistit, zda je potřeba zvyšovat nebo snižovat otáčky generátoru.

Fázování pomocí voltmetrů

Tento způsob je principiálně úplně stejný, jako popsaná první metoda – fázování na tmu. Jediný rozdíl spočívá v tom, že místo žárovek jsou mezi fázemi generátoru a sítě připojeny voltmetry. Jemně ladíme otáčky generátoru tak dlouho, dokud se nedostaneme co nejbližší průběhu napětí sítě. V momentě, kdy všechny voltmetry ukazují nulové napětí, je možné generátor připojit do sítě.

Fázování pomocí synchroskopu

Synchroskop je zařízení, které funguje na principu měření napětí a fázového úhlu mezi generátorem a sítí. Na synchroskopu je potom ručička, která ukazuje, jestli je frekvence generátoru vyšší nebo nižší než frekvence sítě. Ve chvíli, kdy se ručička synchroskopu ustálí na hodnotě označené na číselníku, znamená to, že je možné generátor připojit do sítě [5].

2.3.3 Zatěžování synchronního generátoru pracujícího do sítě

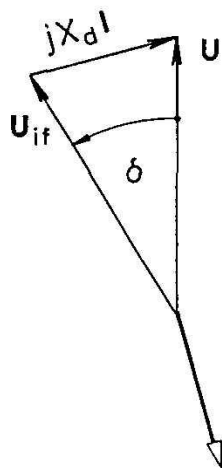
Pokud je síť, do které synchronní generátor pracuje, dostatečně “tvrdá”, udržuje tato síť konstantní napětí i kmitočet bez ohledu na to, jak se mění jalový a činný výkon

synchronního generátoru [6].

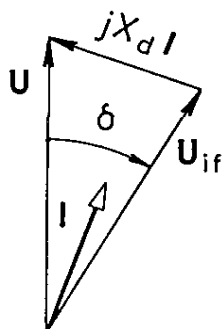
Jestliže zanedbáme činný odpor vinutí statoru, platí následující rovnice.

$$\hat{U} = \hat{U}_{if} + jX_d \hat{I}, \quad (2.4)$$

Po přifázování generátoru do sítě je rozdíl mezi napětím sítě \hat{U} a napětím generátoru naprázdno \hat{U}_{if} roven 0 a proud stroje je také nulový. Po úspěšném přifázování je možné zvyšovat budicí proud, pomocí kterého se mění velikost napětí generátoru \hat{U}_{if} , a protože napětí \hat{U} je konstantní, mění se velikost fázového posunu. V závislosti na těchto změnách se mění i velikost proudu, který protéká generátorem. Zvětšujeme-li budicí proud, je stroj přebuzený, dodává do sítě jalový výkon a chová se v podstatě jako kondenzátor. Zmenšujeme-li budicí proud, je stroj podbuzený, jalový výkon ze sítě odebírá a chová se jako tlumivka [6].

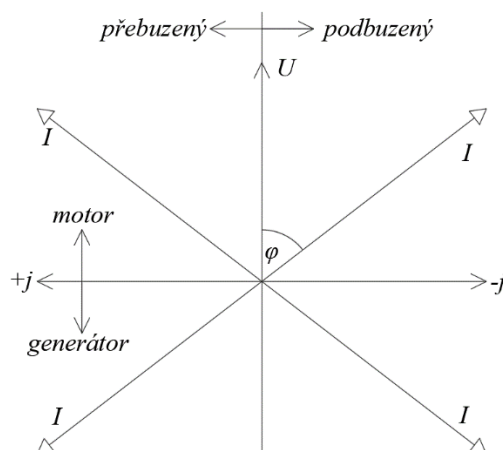


Obrázek 2.7 Fázorový diagram alternátoru [6]



Obrázek 2.8 Fázorový diagram motoru [6]

Výše bylo dokázáno, že pokud bude probíhat změna budicího proudu, bude se měnit dodávaný nebo odebíraný jalový výkon. Když bude zvyšován moment alternátoru, bude napětí \hat{U}_{if} předbíhat svorkové napětí \hat{U} o zátěžný úhel δ , stroj začne dodávat činný výkon do sítě a pracovat jako generátor. Pokud naopak moment bude zmenšován, stroj bude pracovat jako motor [6].



Obrázek 2.9 Provozní stavy synchronního stroje [6]

Při provozu generátoru s “tvrdou” sítí je nutné znát dvě základní pravidla. Pomocí budicího proudu je možné regulovat jalový výkon a pomocí mechanického momentu je možné regulovat činný výkon [6].

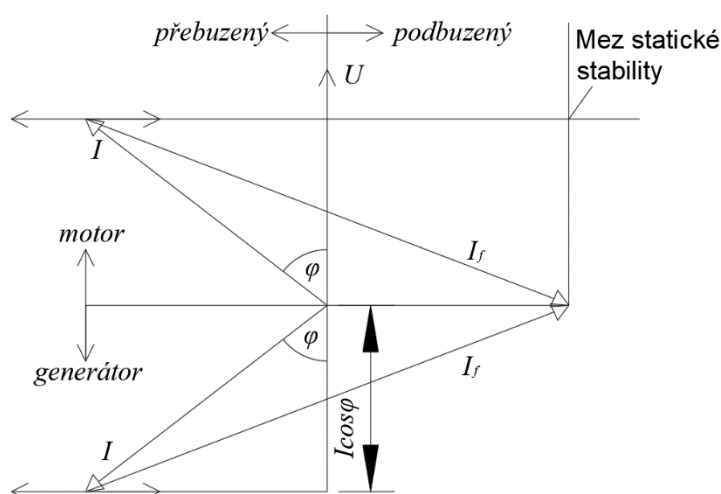
Zatěžování generátoru do tvrdé sítě při konstantním činném výkonu

Zanedbá-li se činný odpor statoru. V tomto případě je vnitřní elektromagnetický moment synchronního stroje konstantní [6].

Elektrický činný výkon:

$$P = m \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (2.5)$$

Výkon P je konstantní v případě, že $U = konst.$ a $I \cdot \cos \varphi = konst.$



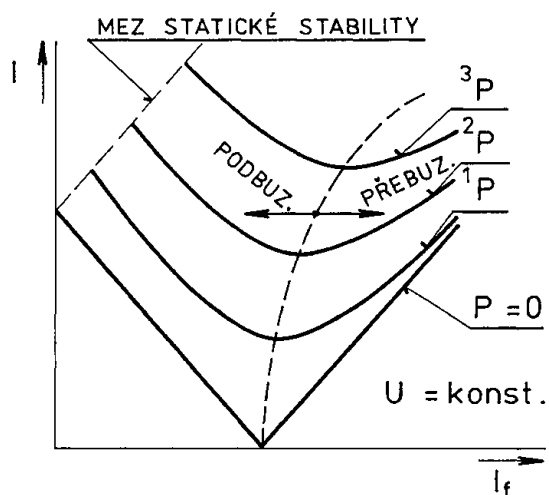
Obrázek 2.10 Fázorový diagram proudů synchronního generátoru při konstantním činném výkonu [6,8]

Na *obrázku 2.10* je fázový diagram proudů při konstantním činném výkonu generátoru a proudy jsou přepočítány na stator. Je zde vidět, že pokud bude měněn budící proud synchronního stroje I_f , jalová složka proudu se bude zvětšovat nebo zmenšovat, ale činná složka proudu $I \cos \varphi$ bude celou dobu konstantní. Ve výsledku bude velikost budícího proudu určovat, jestli stroj bude přebuzený nebo podbuzený [8].

Pokud dojde ke zmenšování budícího proudu do určité hodnoty, dostane se stroj až na mez statické stability a když tuto mez překročí, stroj vypadne ze synchronismu a je nutné jej odpojit [8].

V-křivky

Pomocí fázorového diagramu proudů *obrázku 2.10* je vidět závislost statorového proudu na budícím proudu při konstantním činném výkonu. Vzniklé charakteristiky se nazývají tzv. V-křivky. Tyto V-křivky jsou vidět na *obrázku 2.11*. Přerušovaná křivka ukazuje nejnižší body V-křivek, kdy je $\cos \varphi = 1$, doleva od této křivky je podbuzený stav a doprava je stav přebuzený. Jak je vidět, tak se křivka zobrazující vyvážený stav stáčí postupně směrem doprava. To je při vyšších budících proudech způsobeno sycením a zvětšováním rozptylu hlavních pólů [6].



Obrázek 2.11 V-křivky synchronního stroje [8]

Chod generátoru s nulovým činným výkonem

Pokud je uvažováno konstantní napětí, tak z rovnice pro výkon je možné určit, že aby byl výkon generátoru nulový, musí být buď $I = 0$ nebo $\cos\varphi = 0$. V tomto případě motor nebo jiný stroj, který alternátor pohání, dodává energii pouze pro krytí vlastních ztrát generátoru naprázdno [8].

V tomto momentě může generátor dodávat nebo odebírat ze sítě jalový proud a může fungovat jako kapacitor nebo induktor a tím zlepšovat nebo zhoršovat účinnost sítě [8].

3. SOUSTROJÍ

Tato kapitola se věnuje již konkrétnímu soustrojí motor-generátor, které bude v práci použito.

Jedná se konkrétně o motor *Volvo Penta TAD740GE* a alternátor *MarelliGenerators MJB 250 LB4*.

Tento generátor byl původně instalován pevně a pro standartní připojení k zátěži je připraven. Jak je vidět na obrázku 3.1 tak po obou stranách alternátoru jsou upevněny dva rozváděče. Rozváděč, který je na fotce čelně tzv. *RG*, obsahuje řídicí jednotku a veškeré zapojení určené pro ovládání *GEN*. Druhý rozváděč tzv. *RATS* obsahuje výstupní kabely vyvedené z alternátoru do jističe *MCCB*. Tento jistič nemá motorový pohon a není tedy žádným způsobem ovládaný. Obsahuje pouze kontakt pro zpětnou hlášku o stavu do řídicí jednotky. Navíc jsou zde umístěny tři průvlekové proudové měřící transformátory pro měření dodávaného výkonu.

Cílem projektu je upravit *GEN* do stavu mobilní elektrocentrály s možností převozu a provozem v paralelním režimu. Z toho důvodu bude nutné upravit, případně vyměnit rozváděče. Jedním z hlavních bodů bude výměna řídicí jednotky a přidání dvou jističů s motorovými pohony.

Po zprovoznění centrály z elektrické stránky bude následně na vozík postavena kapota. Nicméně tímto tématem se tato práce již zabývat nebude.



Obrázek 3.1 Soustrojí motor-alternátor před úpravou se starým rozváděčem

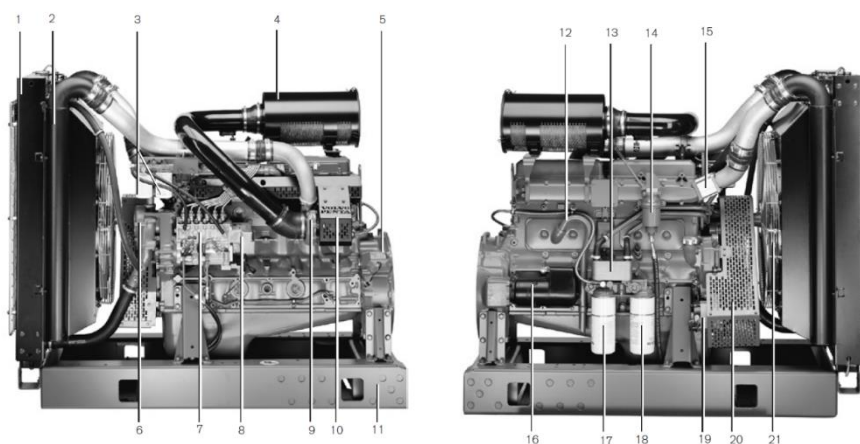
3.1 Motor

Jedná se o naftový motor značky *Volvo Penta* s typovým označením *TAD740GE*. Při jmenovitých otáčkách 1500 min^{-1} dosahuje hnacího výkonu 220 kW. Na otáčkách 1800 min^{-1} je to 228 kW [9].

Podle označení motoru můžeme rozeznat některé základní vlastnosti. Vysvětlení jednotlivých značek v označení motoru *TAD740GE* je v následující tabulce.

Tabulka 3.1 Vysvětlení označení motoru *TAD740GE* [9]

T	Turbodmychadlo
A	Chlazení vzduch – vzduch
D	Naftový motor
7	Indikace posunutí
4	Generace
0	Verze
G	Pohon generátoru
E	Kontrolované emise



Obrázek 3.2 Popis jednotlivých částí motoru Volvo Penta TAD740GE [9]

Tabulka 3.2 Vysvětlivky k obr. 3.2

1.	Chladič	12.	Větrání klikové skříně
2.	Mezichladič vzduch – vzduch	13.	Olejový chladič
3.	Dvojité palivové filtry	14.	Čerpadlo pro vypouštění oleje

4.	Vzduchový filtr	15.	Ohřívač sacího potrubí
5.	Pouzdro setrvačníku	16.	Startér
6.	Čerpadlo chladicí kapaliny	17.	Plnoproudý olejový filtr
7.	Čerpadlo vstřikování paliva	18.	Olejový filtr
8.	Mechanický regulátor otáček	19.	Alternátor
9.	Turbodmychadlo	20.	Ochranný pás
10.	Tepelný chránič	21.	Ochranný kryt ventilátoru
11.	Rozšířitelný základní rám		

3.2 Alternátor

Na hřídeli motoru je umístěn alternátor značky *Marelli Generators*. Jedná se o typ *MJB 250 LB4*. Je to čtyřpólový synchronní alternátor pracující na jmenovitých otáčkách 1500 min^{-1} 50 Hz, případně 1800 min^{-1} 60 Hz. Jmenovitý účinník je $\cos\varphi=0,8$.

Alternátor bude provozován na 1500 min^{-1} na síti 50 Hz s tím, že bude zapojen do hvězdy s vyvedeným středem. V této konfiguraci je výkon alternátoru 250 kVA (*Prime*) a 275 kVA (*Stand-by*) .

4. ŘÍDICÍ JEDNOTKA

Cílem práce je navrhnout a zrealizovat systém pro řízení naftové elektrocentrály, tak aby byla možnost paralelního chodu elektrocentrály se sítí, případně s jiným generátorem zapojeným paralelně. Je proto nutné zvolit vhodnou řídicí jednotku, která bude celý systém ovládat.

Je nutné vědět, jaký motor budeme řídit. Některé motory mají svoji vlastní řídicí jednotku *ECU* (electronic control unit), která je schopna ovládat veškeré úkony týkající se motoru a nadřazená řídicí jednotka se potom stará o zálohování sítě. Některé motory však vlastní řídicí jednotku nemají a je nutné ovládat vše.

4.1 Řízení systému

4.1.1 Řízení motoru

Základní řízení naftového motoru spočívá v tom, že řídicí jednotka ovládá strážný, který motor roztočí a stopovač, který přeruší přívod paliva do motoru a tím ho zastaví. Dále je nutné řídit otáčky motoru. To je provedeno pomocí mechanického, či elektronického regulátoru. Aby bylo možné otáčky řídit, je nutná zpětná hláška o aktuálních otáčkách. Otáčky se měří tak, že na setrvačnicku umístěném na hřídeli, jsou po obvodu umístěné zuby a naproti těmto zubům je čidlo, které zaznamenává jednotlivé zuby a v řídicí jednotce potom dojde k přepočtu na aktuální otáčky.

Důležité jsou tlaky a teploty v motoru, proto je na motoru umístěno několik čidel tlaku a teploty. Měří se tlak oleje a teplota chladicí kapaliny a pokud některá z těchto veličin přesahuje povolené hodnoty, je nutné motor odstavit, aby nedošlo k jeho zničení.

Další veličiny, které není nutné přímo hlídat, ale je dobré mít informaci o jejich stavu jsou např. napětí baterií nebo výška hladiny paliva. Dále je možné u motoru ovládat předehřev, který zaručuje hladší start motoru, případně u menších strojů žhavení – předehřev sacího vzduchu.

4.1.2 Řízení alternátoru

Dnešní alternátory na naftových elektrocentrálách obsahují vnitřní buzení, které po naběhnutí motoru na požadované otáčky automaticky alternátor nabudí a následně udržuje napětí a účinník na požadované hodnotě. Toto platí při práci alternátoru v ostrovním režimu. Pokud ovšem požadujeme paralelní režim se sítí, případně s jiným zdrojem, je nutné řídit i budicí proud řídicí jednotkou.

4.1.3 Řízení záskoku ATS

Další část řízení nesouvisí přímo s řízením *DA*. Jde o řízení přepínání stykačů případně motorových jističů při výpadku elektrické energie. Zde se používá zkratka *ATS* (automatic transfer switch). *ŘJ* vyhodnocuje přítomnost napětí sítě a napětí generátoru.

Na výstupní kabely generátoru jsou umístěné proudové transformátory, pomocí kterých měříme výkon dodávaný generátorem do napájeného objektu.

Dále je nutná informace o stavu ovládaných motorových jističů nebo stykačů. *ŘJ* též posílá povel pro sepnutí nebo odepnutí jednotlivého motorového jističe nebo stykače a zpětně vyhodnocuje hlášky o polohách těchto jističů (stykačů).

4.1.4 Doplnkové řízení

Zde jsou zahrnuty všechny další vedlejší funkce, které nesouvisí přímo se zálohováním. Je nutné mít v systému zahrnutý nouzový stop motoru v podobě nouzového tlačítka na dveřích rozváděče motoru apod.

4.2 Volba řídicí jednotky

Výše byly popsány principy základního řízení záskoku sítě. Je několik možností, jak řízení realizovat.

Nabízí se použití programovatelného automatu *PLC* (např. Siemens, Koyo, Schneider Electric apod.), jsou zde v podstatě neomezené možnosti, co se týká programování a je možné implementovat nejrůznější stavy a pokud je to nutné, tak je možné řídit i víc věcí najednou. Nicméně velká nevýhoda spočívá v tom, že je nutné celý program pro řízení vytvořit a samotné *PLC* nenabízí např. možnost vyhodnocování přítomnosti sítě apod. Je nutné spousta dalších, doplňkových zařízení, čímž se zvyšují nejen finanční náklady, ale zároveň i složitost programu a celého provedení.

Vhodnější variantou pro tuto konkrétní aplikaci je použití *ŘJ*, která už je přímo k řízení naftového motorgenerátoru připravena. Jedná se v podstatě o *PLC*, které už je softwarově předprogramované a má připravené vstupy a výstupy na připojení jednotlivých měření a ovládání a v některých případech stačí navolit jen pár základních nastavení a správně jednotku připojit.

5. POPIS ŘÍDÍCIHO SYSTÉMU COMAP

Firma *ComAp* navrhuje, vyrábí a instaluje řídicí systémy pro výrobu elektrické energie a řízení naftových generátorů. Řídicí jednotky *ComAp* jsou předprogramované pro různé aplikace použití. Ty základní zvládnou ovládání samotného naftového nebo jiného motoru s generátorem a zásokou sítě. Vyšší verze potom zvládnou i paralelní chod generátoru se sítí, případně s jiným *GEN*.

Tato práce řeší zások sítě s následným zpětným přifázováním generátoru do sítě, případně s možností paralelního provozu dvou generátorů nebo generátoru a sítě. Pro tuto aplikaci je nutné použít řídicí jednotku, která má možnost paralelního chodu generátoru a sítě [14].

5.1 Řídicí systém

InteliGen NT BaseBox

InteliGen NT BaseBox je řídicí jednotka, podporující řízení jednoho nebo více generátorů pracujících samostatně nebo paralelně, umožňuje řízení motorů, jak s elektronickým regulátorem otáček, tak s mechanickým řízením. Nabízí kompletní ovládání motoru a alternátoru a poskytuje přístup ke všem naměřeným údajům a zároveň nabízí množství komunikačních rozhraní, pomocí kterých je umožněn. Je kompatibilní se zobrazovacími panely *ComAp*, ale pomocí komunikačních protokolů může být jednotka použita i s jinými zobrazovacími panely. Obsahuje *PLC*, pomocí kterého je možné upravovat požadavky u konkrétních aplikací [14].



Obrázek 5.1 Řídicí jednotka ComAp InteliGen NT BaseBox

InteliVision 5

InteliVision 5 je ovládací panel, který je určen pro vizualizaci a ovládání systému řízeného *ŘJ ComAp* [14].

Komunikace ŘJ s panelem probíhá pomocí komunikačního protokolu CAN bus. Panel nabízí přístup k veškerým měřeným i nastaveným hodnotám a zároveň je možné z panelu celý systém ovládat.



Obrázek 5.2 Zobrazovací panel InteliVision 5

IGS-NT-LSM+PMS

IGS-NT-LSM+PMS je hardwarový klíč, který otevírá funkce *POWERMANAGEMENT*, která slouží k ovládání více *ŘJ ComAp* společně. Je to z toho důvodu, aby při paralelním chodu *GEN* nedocházelo k přelévání výkonů, a nakonec ke zhroucení celého systému [14].

Tento hardwarový klíč se ze přední strany vloží přímo do řídicí jednotky a následně se automaticky propojí s řídicí jednotkou.



Obrázek 5.3 Hardwarový klíč IGS-NT-LSM+PMS [14]

IG-AVRi

Je to zařízení zajišťující ovládání regulátoru buzení. Popis připojení IG-AVRi je na obrázku 5.8.

IG-AVRi-TRANS/LV

Napájecí zdroj pro napájení modulu IG-AVRi [14].

- Vstupní napětí 1: 230-277 VAC +- 20 %
- Vstupní napětí 2: 400-480 VAC +- 20 %
- Frekvence: 50–60 Hz



Obrázek 5.4 Vlevo IG-AVRi-TRANS/LV a vpravo IG-AVRi

5.2 Čidla a aktivní prvky

Pro správné fungování motoru je nutné, aby ŘJ dostávala informace o jeho stavu. Z tohoto hlediska je na motoru umístěno několik čidel, které mohou být provedeny buď jako binární, analogové nebo kombinace obou možností.

První možností je, že čidlo při určité varovné hodnotě sepne kontakt, který je vyvedený přímo do jednotky a v závislosti na tomto varování je následně například odstaven motor nebo vyhlášen alarm na ŘJ.

Další možností je potom analogové čidlo, kde v závislosti na změně určité hodnoty dochází ke změně elektrického odporu, napětí nebo proudu a díky tomu má ŘJ informaci o aktuální měřené hodnotě.

Jako poslední může být kombinace analogového měření s kontaktem. Analogová hodnota potom slouží k zobrazení aktuální hodnoty a binární kontakt se používá k sepnutí

při dosažení varovné hranice hodnoty. Příkladem může být odstavení motoru při vysoké teplotě nebo při nízké hladině paliva.

Aktivním prvkem se potom rozumí součást motoru nebo alternátoru, pomocí které je možno měnit nebo regulovat fungování motoru.

5.2.1 Čidla

Tabulka 5.1 Seznam čidel motoru

Čidlo	Binární	Analogové
Tlak oleje	Ano	Ano
Teplota chladicí kapaliny	Ano	Ano
Hladina paliva	Ne	Ano
Hladina chladicí kapaliny	Ano	Ne

Speciálním případem je čidlo otáček, které je provedeno jako magnetické čidlo. Po obvodu setrvačníku jsou umístěny zuby a vždy, když zub projde kolem čidla, je do $\check{R}J$ vyvolán pulz. $\check{R}J$ je přednastavená na počet zubů, které jsou potřeba napočítat do jedné otáčky a podle toho přes regulátor otáček reguluje rychlost.

5.2.2 Aktivní prvky

Motor obsahuje několik prvků, které řídicí jednotka může ovládat. Těmito prvky jsou startér, stopovač, žhavení, regulátor otáček, buzení.

5.2.2.1 Regulátor otáček



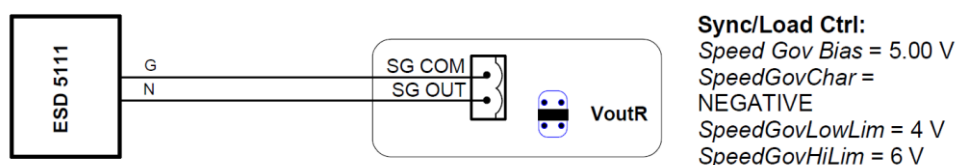
Obrázek 5.5 Regulátor otáček Volvo Penta 881616

Pro řízení otáček motoru je využito mechanického regulátoru otáček, tento regulátor je

ale nutné ovládat mezistupněm a tím je elektronický regulátor otáček *Volvo Penta 881616*. Regulátor funguje takovým způsobem, že na svorky E a F je přivedeno napájení, je jím napětí z baterie 24 VDC. Na svorkách C a D je připojeno magnetické čidlo otáček a svorky A a B jsou výstupem z regulátoru, který už přímo reguluje otáčky motoru.

Pro propojení regulátoru otáček a ŘJ se potom používají svorky umístěné na řídicí jednotce s označením SG COM a SG OUT. V manuálu [7] jsou vypsány nejčastěji používané regulátory otáček a informace o tom, na které svorky regulátoru musíme výstupní svorky z ŘJ připojit. V tomto případě se jedná o typ *ESD 5111*, který je shodný s typem *VOLVO PENTA 881616*. Z manuálu lze vyčíst, že SG COM je nutné připojit na svorku G a SG OUT připojíme na svorku N. Dále je třeba přemístit jumper VoutR na správnou pozici, tato pozice je vidět na *obrázku 5.7*.

Mimo jiné lze v manuálu [7] vyčíst nastavení setpointů, které je nutné správně nakonfigurovat pro konkrétní typ regulátoru otáček.



Obrázek 5.6 Připojení regulátoru otáček EDS5111 k ŘJ a nastavení setpointů [7]

5.2.2.2 Regulátor Buzení

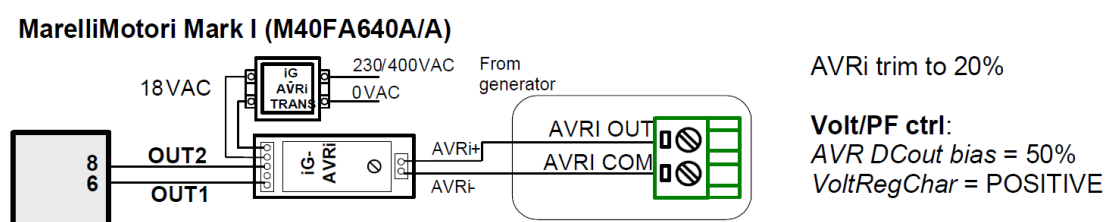


Obrázek 5.7 Regulátor buzení Marelli AVR M40FA640A/A

V alternátoru je regulátor buzení *Marelli AVR M40FA640A/A*. Na svorky U a N je přivedeno napájecí napětí maximálně 1000 VAC. Svorky S1-S2, S3-S4 a S5-S6 jsou určeny pro připojení a snímání fázových napětí. Výstup budicího napětí je na svorkách + a -. Maximální budicí napětí je 80 V a maximální budicí proud 8 A. Kontakty P a Q slouží k připojení externího potenciometru, pomocí kterého je možné doladit jmenovité napětí

[13]. Na kontakty 6 a 8 je možné připojit externí řídicí systém – v tomto případě se jedná o *iG-AVRi*, což je prvek spojující regulátor buzení a *ŘJ* a pomocí tohoto prvku lze regulátor buzení řídit vzdáleně. Na *obrázku 5.9* je vidět, jakým způsobem se jednotlivé prvky propojí. Vlevo jsou svorky regulátoru buzení 6 a 8, kam je přiváděno napětí v rozmezí ± 3 VDC. Jako další je na obrázku zdroj pro napájení *iG-AVRi*, pod zdrojem a vpravo jsou vyznačeny svorky AVRI OUT a AVRI COM, které se nachází na *ŘJ*. Tímto jednoduchým principem je tedy možné ovládat regulátor buzení vzdáleně z *ŘJ*.

Pro propojení *iG-AVRi* s regulátorem buzením je podle zdroje [7] vhodné použít stíněný dvoužilový kabel.



Obrázek 5.8 Připojení regulátoru buzení Marelli AVR M40FA640A/A k *ŘJ* a nastavení setpointů [7]

5.3 Aplikace

Řídicí jednotka *InteliGen NT BaseBox* obsahuje několik vnitřně přednastavených aplikací a každá z nich je vhodná na jiné použití. Jsou to aplikace *SPtM*, *SPI* a *MINT*. Podrobnější popis jednotlivých aplikací je na následujících stránkách.

Pro účely této práce bude použito čtvrté speciální možnosti, a to je *Combi*, což je kombinace všech těchto tří aplikací.

5.3.1 SPtM

Aplikace *SPtM* (generátor paralelně se sítí) nabízí řízení *GEN* a možnost paralelního chodu *GEN* se sítí.

5.3.2 SPI

Aplikace *SPI* (generátor v ostrovním režimu) nabízí možnost řízení *GEN* a zároveň řízení záskoku, v případě výpadku sítě.

5.3.3 MINT

Aplikace *MINT* (sít', ostrov) nabízí chod více *GEN* paralelně.

5.4 GenConfig

GenConfig je software určený pro nastavování řídicích jednotek *InteliGen NT BaseBox*.

5.4.1 I/O

Jednotka *InteliGen NT BaseBox* je vybavena dvanácti binárními vstupy, dvanácti binárními výstupy a třemi analogovými vstupy, které jsou v přednastaveny na konkrétní použití. Nicméně v programu *GenConfig* je možné tyto přednastavené funkce měnit a zvolit si vlastní konfiguraci.

5.4.2 Setpointy

Setpointy jsou analogové, binární nebo jiné speciální datové objekty, které slouží k úpravě aplikací pro konkrétní použití. Jsou rozděleny do několika skupin podle jejich určení [7].

Veškeré setpointy je možné chránit heslem. V programu je k dispozici celkem sedm úrovní zabezpečení a u každého setpointu je možné zvolit, ve které úrovni bude možné tento setpoint upravovat. Je možné nadefinovat až 8 uživatelů a každý z nich může mít rozdílná práva pro úpravu setpointů. Pro každého uživatele je možné nadefinovat vlastní heslo [7].

Jednotlivé skupiny a konkrétní datové objekty s popisem jejich funkce a vysvětlivkou jsou obsaženy v manuálu – zdroj [7]. Celkové nastavení bude možno nahlédnout v přílohách práce, přímo v programu pro *ŘJ*.

6. REALIZACE PROJEKTU

6.1 Výkresová dokumentace

Pro potřeby projektu byla vytvořena výkresová dokumentace. Projekt byl navržen a nakreslen v programu *EPLAN Electric P8*. Pro zjednodušení některých schémat a lepší pochopení a možnost použití přímo v textu práce byly některé části překresleny v programu Autodesk *AutoCAD*.

Podle výkresové dokumentace byl následně sestaven rozváděč. Jednotlivé nejdůležitější části projektu jsou detailně rozpracovány v této kapitole.

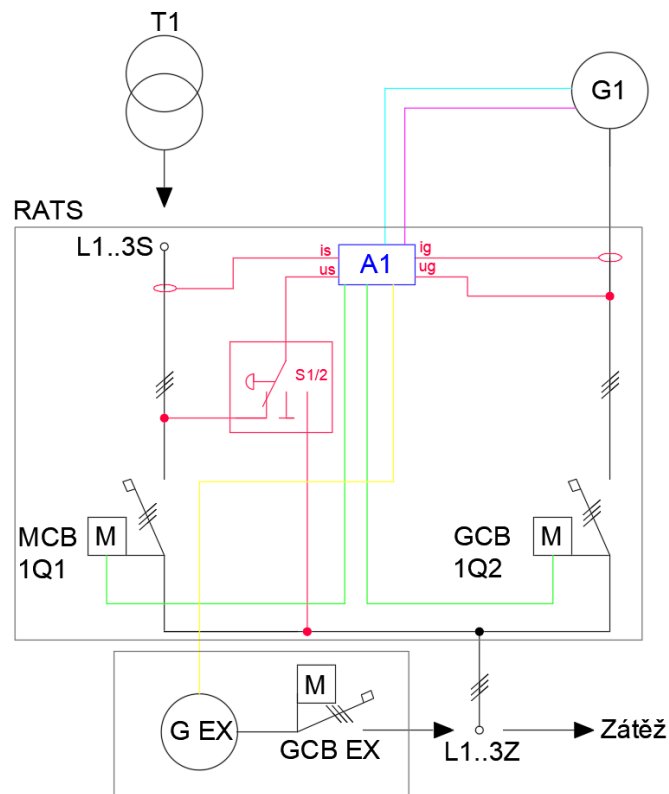
6.1.1 Jednopolové schéma zapojení

Na *obrázku 6.1* můžeme vidět jednopolové schéma zapojení silových obvodů společně s měřením napětí a proudů. Transformátor *T1* a externí generátor *G EX* jsou zde zobrazeny z důvodu možnosti dvou odlišných aplikací – viz. *kapitola 5.3*. V obou aplikacích je nutné řídit otáčky i buzení *G1* pomocí řídicí jednotky. Předpokladem v aplikaci *MINT* je, že připojený externí generátor *G EX* je stejně jako *G1* řízen řídicí jednotkou *ComAp*. Potom je možná velmi rychlá regulace, úprava sdílení zátěží a podobně. Pokud externí generátor nemá řídicí jednotku *ComAp*, tak paralelní chod není podporován. Je to z toho důvodu, že *ŘJ* není schopna rozpoznat o jaký generátor se jedná. Především výkonově. Existuje však jedna možnost, jak použít *G1* paralelně s externím generátorem, pokud externí generátor neobsahuje řídicí jednotku *ComAp* a to je při použití aplikace pro paralelní chod *G1* a *T1*, nicméně toto řešení není příliš vhodné.

L1S, *L2S* a *L3S* představují přípojnice pro připojení napětí sítě *T1*. *L1Z*, *L2Z* a *L3Z* jsou přípojnice pro připojení zálohované spotřeby. V případě paralelního provozu *G1* a *G EX* jsou svorky *L1Z*, *L2Z* a *L3Z* sdílené i pro zátěž *G EX*.

G1 představuje mobilní *GEN* použitý v práci. Pro jištění a přepínání jsou použity dva jističe *MCCB* s motorovým pohonem – *1Q1 (MCB)* a *1Q2 (GCB)*, které jsou řízeny řídicí jednotkou *A1*.

- Buzení _____
- Regulace otáček _____
- Měření proudu a reference napětí _____
- Ovládání jističů _____
- Silové obvody _____
- Řídicí jednotka _____
- Komunikace _____



Obrázek 6.1 Jednopolové silové schéma zapojení

6.1.2 Reference napětí a měření proudů

Pro správnou funkci systému, je nezbytné měření napětí a proudů. Měření napětí je realizováno připojením kabelových ok přímo na silové kabely a vyvedeno na konektory ŘJ k tomu určené. Podle zdroje [7] je nutné tyto vstupy jistit pojistkou 2AgG. Z toho důvodu je mezi konektorem a silovými kabely umístěn třípólový pojistkový odpojovač.

Systém bude možné provozovat ve dvou aplikacích – paralelní provoz *G1* a *T1* nebo paralelní provoz *G1* a *G EX*. Napětí na externím zdroji *T1* nebo *G EX* se tedy nebude v každém případě měřit na stejném místě. Z toho důvodu je v rozváděči umístěn přepínač *S1/2*, pomocí kterého je možné přepnout měření napětí ze svorek *L1S*, *L2S* a *L3S*

Měření proudů je realizováno pomocí proudových transformátorů 400/5 A umístěných na výstupních kabelech z alternátoru a výstupy vyvedeny do *ŘJ ComAp*. Měření proudu sítě *TI* v aplikaci *SPtM* je realizováno pomocí jednoho měřícího transformátoru umístěného na přípojnici *L3S*. Podle *zdroje [7]* bylo zjištěno, že na této větvi stačí jen jeden měřící transformátor umístěný na třetí fázi. *ŘJ* tento proud následně vynásobí třemi. Předpokládá se symetrické zatížení všech tří fází.

6.1.1 Ovládací schéma motorových jističů

Motorový pohon jističe je realizován na 230 VAC, proto je zde přes pojistku 1F7 přivedeno napětí ze sítě, pomocí kterého je motor ovládaný.

- 43

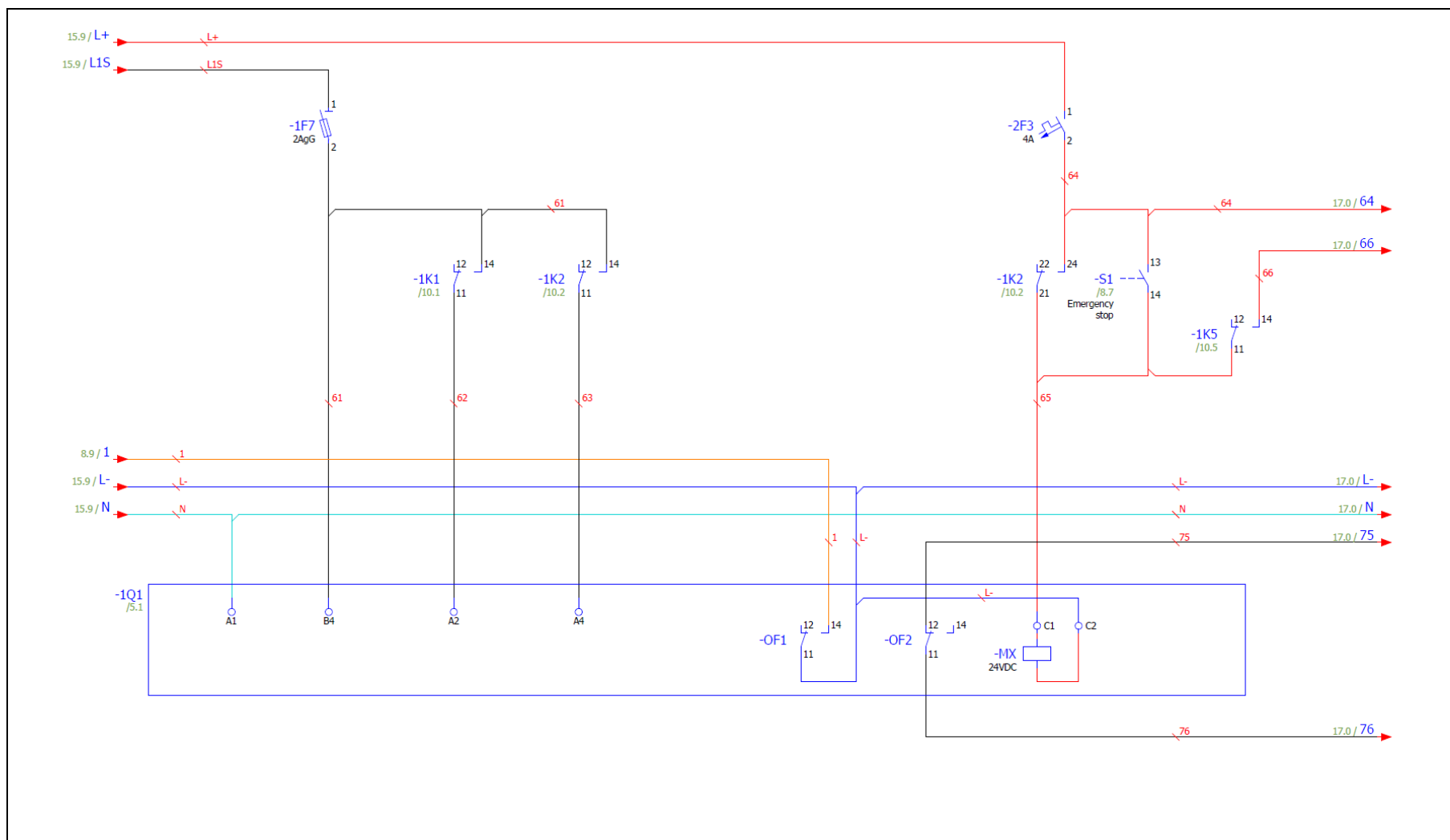
V hlavním bloku jističe je osazena vypínací napěťová cívka MX, ovládaná napětím 24 VDC. Je to z toho důvodu, aby při nepřítomnosti sítě bylo možné jistič vypnout. Vypínací cívku lze ovládat třemi způsoby. První možností je sepnutí cívky pomocí *ŘJ*, druhou možností je sepnutí nouzového tlačítka stop, umístěného na dveřích, a třetí možností sepnutí pomocí pomocného kontaktu druhého jističe *GCB*, který slouží jako elektrická blokace proti nevyžádanému sepnutí jističů současně. V případě potřeby sepnutí jističů současně při fázování je elektrická blokace vyrušena pomocí relé 1K5 ovládaného řídicí jednotkou.

Vedle vypínací cívky jsou v hlavním bloku jističe osazeny dva pomocné kontakty. Jeden spínací OF1, ten slouží ke zpětné hláše do řídicí jednotky o poloze *MCB* a druhý rozpínací OF2, který slouží ke vzájemné elektrické blokaci obou jističů.

Na *obrázku 6.4* je vidět ovládání jističe *IQ2 (GCB)*. Tento jistič slouží jako hlavní jistič přívodu z *G1* a používá se pro připínání *G1* do zátěže ve všech aplikacích. Napájení je stejně jako pro jistič *MCB* realizováno na vlastní napětí z generátoru 230 VAC přes pojistku 1F8. Ovládání je také úplně stejné.

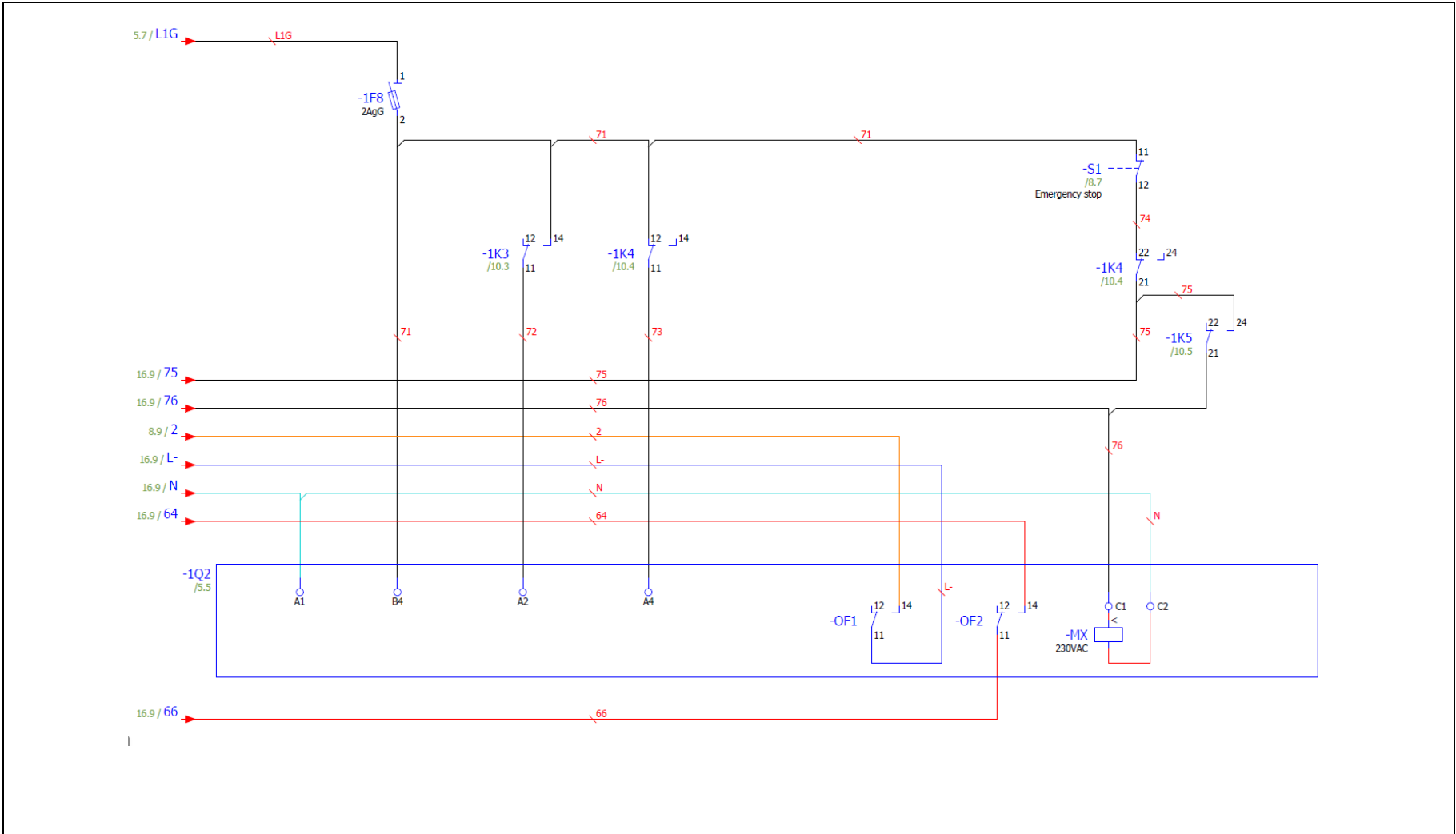
Jediný rozdíl je v rozdílné vypínací cívce. Jistič *GCB* obsahuje vypínací podpěťovou cívku na 230 VAC na rozdíl od jističe *MCB*, kde je cívka napěťová 24 VDC. Je to z toho důvodu, že jistič *GCB* slouží k jištění *G1* a v případě poklesu napětí generátoru je požadováno, aby byl generátor odpojen od zátěže.

- A1 – napájení N (230 VAC)
- B4 – napájení L (230 VAC)
- A2 – ON
- A4 – OFF
- OF1 – poloha jističe do *ŘJ*
- OF2 – poloha jističe pro elektrickou blokaci s jističem *MCB (IQ1)*
- MX – podpěťová vypínací cívka



Obrázek

6.3 Ovládání jističe MCB

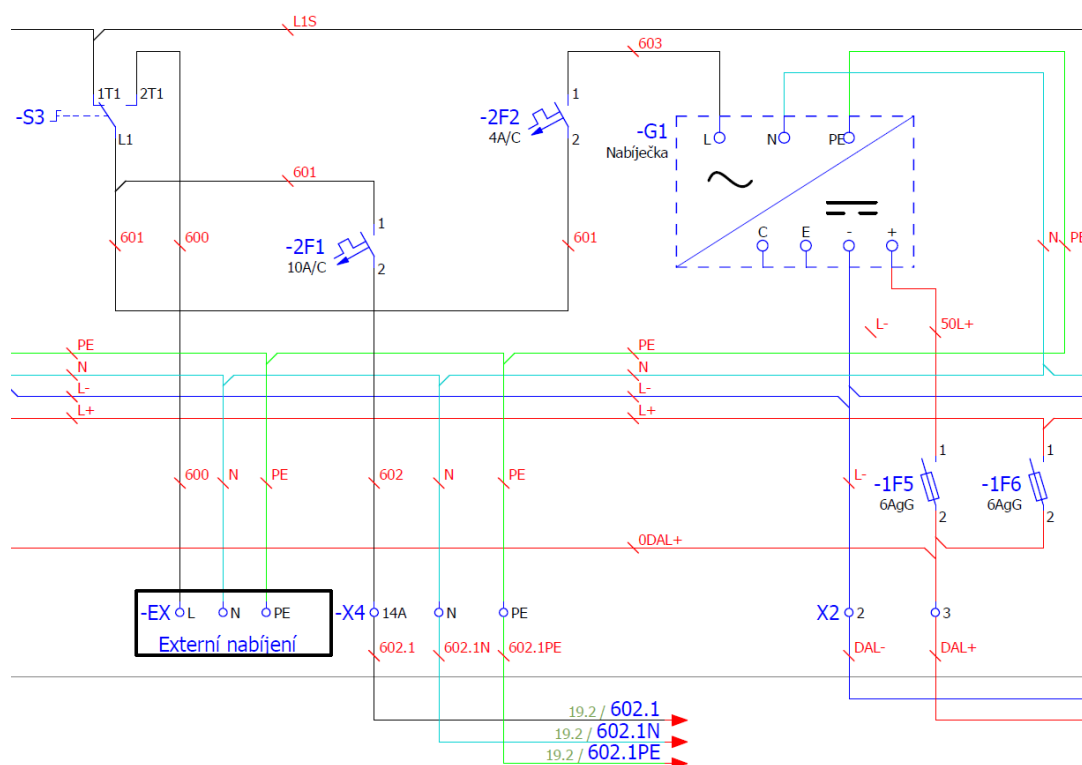


Obrázek 6.4 Ovládání jističe GCB

6.1.2 Ovládací napětí 24 VDC

Systém je stavěný takovým způsobem, že veškeré prvky jsou ovládané pomocí 24 VDC, případně 230 VAC. Na motoru jsou umístěny dvě 12 VDC autobaterie připojené do série, které slouží ke startu motoru a k napájení veškeré ovládací elektroniky.

V případě, že motor stojí a baterie nejsou nabíjeny malým alternátorem umístěným na motoru, je nutné baterie dobít jinak. K tomuto účelu slouží nabíječka *G1* umístěná v rozváděči. Tato nabíječka je při připojení *T1* napájena z první fáze síťového přívodu. V případě nemožnosti připojit nabíječku přes přípojnice, je v rozváděči připraven přepínač *S3*, pro nabíjení přímo z externí zásuvky, která aktuálně není přítomna, ale v budoucnu do systému pravděpodobně bude dodána. Je to z toho důvodu, pokud bude *G1* delší dobu stát bez používání a dobíjení, aby bylo možné baterie jednoduchým způsobem dobít.



Obrázek 6.5 Napájení 24 VDC

Na obrázku 6.5 je vidět provedení nabíjení baterií pomocí nabíječky. Svorkovnice *X2* slouží k připojení 24 VDC pomocí vodičů *DAL+* a *DAL-* z baterií. Za touto svorkovnicí se *DAL+* mění na *0DAL+* a pokračuje přes jednu pojistku do nabíječky a přes druhou pojistku k napájení ovládacích obvodů. Třetí odbočka, která na obrázku 6.5 není vidět vede pro napájení regulátoru otáček a je spínaná pomocí automobilového relé z *ŘJ*. Tímto

způsobem funguje regulátor otáček současně jako stopovač, protože v momentě, kdy ztratí napájecí napětí, uzavře se přívod paliva do motoru a ten se zastaví.

Další dvě odbočky z 0DAL+ jsou vyvedeny na dvě automobilové relé – startér a rezerva v případě, že by byl motor vybaven žhavením.

6.1.3 Předehřev

Mimo jiné je na *obrázku 6.5* vidět zapojení předehřevu. Přívod je proveden stejným způsobem, jako externí nabíjení, které je popsáno v *kapitole 6.4*.

Předehřev slouží, jak už z názvu plyne, k zahřátí motoru před startem, a to na jeho provozní teplotu, aby bylo možné motor okamžitě po startu zatěžovat. Je složen z topné spirály, termostatu a čerpadla a díky tomu je možné systémem potrubí rozvést teplou chladicí směs do celého motoru a kolovat ji. Předehřev se uplatní především v zimních měsících, kdy je nízká teplota v okolí. Díky předehřevu je start motoru šetrnější a zvyšuje se tak jeho životnost [14].

6.2 Rozváděč

Podle výkresové dokumentace byl sestaven rozváděč. Převážná většina přístrojů a komponentů pochází od firmy *Schrack*, a při realizaci a nákupu materiálu bylo velkou měrou přihlíženo na finální cenu celého projektu. Z toho důvodu bylo použito, pokud možno, co nejvíce komponentů z původního rozváděče.

6.2.1 Rozložení skříně

Nejdříve proběhlo sečtení všech přístrojů, důkladné rozkreslení a promyšlení veškerých nutných detailů, v neposlední řadě také prostudování velikosti prostoru, který bude v kapotáži *G1* k dispozici.

První úvahy směřovaly k osazení dvou menších rozváděčových skříní, z nichž jedna by byla určena samostatně pro *ATS* – tedy dva jističe s motorovým pohonem a druhá skříň by byla samostatně, pro všechny ostatní komponenty. Tato varianta se nesesetkala s úspěchem, a nakonec padla volba na jednu větší rozváděčovou skříň, kde bude společně ve dvou patrech umístěno vše.

Rozměry skříně byly zvoleny následující: ŠxVxH 800x1000x400, která měla být dostatečná.



Obrázek 6.6 První rozvržení přístrojů v rozváděči RATS

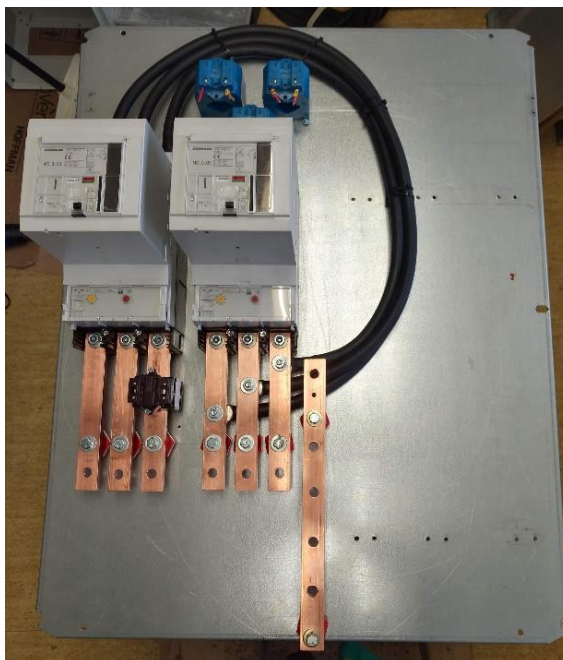
Po několika rozvrženích přístrojů přímo ve skříni přišlo na řadu uchycení jednotlivých komponentů. Z důvodu častého připojování a odpojování silových kabelů (mobilní elektrocentrála), bylo žádoucí promyslet rozvržení a systém připojování takovým způsobem, aby připojování bylo co nejjednodušší a zároveň při něm nedošlo například k poškození některých přístrojů. Proto byla silová část navržena takovým způsobem, aby se silové kabely vůbec nemohly s ovládacími setkat.

Připojení *T1* nebo *G EX* a zálohy – jističe s motorovým pohonem na obrázcích bylo navrženo a zrealizováno pomocí přípojníc zespodu. Výhodou je, že ve spodní části rozváděčové skříně jsou dvě dostatečně velké otvory, kudy je možné kabely protahovat. Připojení *G1* je realizováno do pravého jističe shora a to tak, že v horní části skříně byl vyříznut otvor pro hliníkový plech, ve kterém jsou vystřiženy kulaté otvory na průchodky z alternátoru. Hliníkový plech je v tomto případě nutný, aby nedocházelo k zahřívání způsobené vířivými proudy.

Měření referencí napětí bude umístěno přímo pod šrouby jednotlivých jističů, tak aby nebylo nutné s nimi vůbec manipulovat. Stejně tak měřicí transformátory proudu. Měřicí transformátory proudu generátoru jsou umístěny před vstupem do jističe *GCB* – na *obrázku 6.7* - modré měřicí transformátory proudu. Měření proudu *T1* nebo *G EX* probíhá pouze na třetí fázi. To je provedeno opět měřícím transformátorem, který je umístěn přímo na přípojnici třetí fáze – *obrázek 6.7* hnědý měřicí transformátor proudu na třetí přípojnici *GCB* (levý jistič).

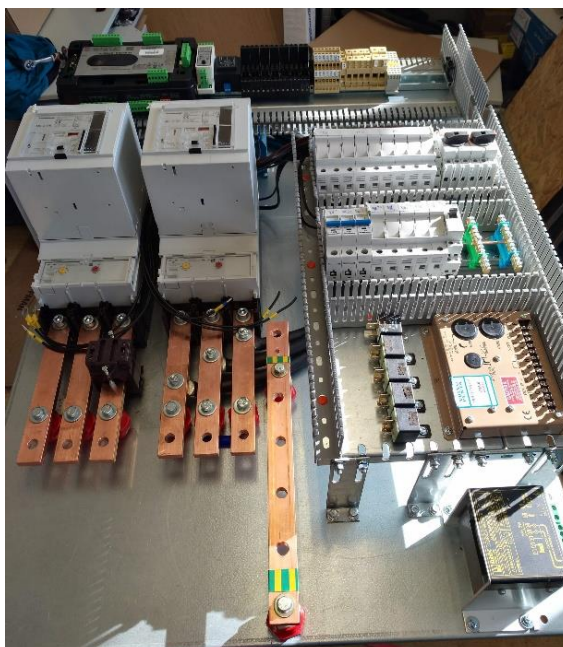
Vpravo od fázových přípojníc je umístěna jedna delší přípojnice pro připojení vodiče PEN. Tato přípojnice má pod sebou vyšší izolační podpěrku, a to z prostého důvodu,

jelikož při připojování silových kabelů bude připojení díky odstupňování vůči fázovým kabelům snazší.



Obrázek 6.7 Zapojení silových obvodů

Z důvodů již vypsanych výše bylo navrženo odstupňování ovládacích obvodů oproti silovým obvodům. To bylo vyřešeno pomocí kovových konstrukcí – *obrázek 6.8*.



Obrázek 6.8 První a druhé patro rozváděče ATS

6.2.2 Drátování a ochrana proti dotyku živých částí

Zapojení rozváděče bylo provedeno tak, aby následné připojení jednotlivých čidel a aktivních prvků bylo co nejsnazší. Přímo na soustrojí již byly veškeré čidla a aktivní prvky vyvedeny do dvou konektorů. Naskytly se tedy dvě možnosti, jak jednotlivé komponenty připojit.

První možností bylo instalovat po soustrojí nové kabely a přivést přímo na svorky v rozváděči a druhou možností využít stávající konektory a jen připojit kabely z rozváděče na protikus konektoru. Volba padla na druhou variantu a bylo využito připojení přes konektory.

Poslední provedenou prací na rozváděči byla ochrana živých částí proti dotyku. Tato ochrana byla provedena pomocí plastových krytů uchycených na plechové konstrukci k tomu určené. Veškeré plastové kryty jsou jednoduše odnímatelné a v případě potřeby připojení silových kabelů není nutné odnímat veškeré kryty, ale pouze dva spodní, které jsou vidět na *obrázku 6.9*.



Obrázek 6.9 Vydrátovaný rozváděč s částečným zakrytím živých částí

6.2.3 Uchycení rozváděče ke konstrukci soustrojí

Uchycení rozváděče ke konstrukci bylo provedeno pomocí dvou upravených stojanů zespodu. V budoucnu dojde k uchycení rozváděče za zadní část skříně z důvodu zvýšení pevnosti.



Obrázek 6.10 Rozváděč uchycený na konstrukci soustrojí

6.3 Program ComAp

Pro řízení systému byl zvolen systém *ComAp* – konkrétně *ComAp IntelliGen NT BaseBox*, který společně s hardwarovým klíčem *IGS-NT-LSM+PMS* a *iGAVRI* nabízí řízení *GEN* s možností paralelního provozu.

Pro nastavování *ŘJ ComAp* se používají dva programy:

- *InteliMonitor* – sledování aktuálního stavu a ovládání *GEN* a možnost online změny setpointů
- *GenConfig* – nastavení řídicí jednotky

6.3.1 Nastavení GenConfig

Při spuštění programu *GenConfig* je možné zvolit, která aplikace bude využívána (*Combi*, *MINT*, *SPI*, *SPtM*). V tomto případě byla zvolena aplikace *Combi*, která poskytuje možnost přepínat mezi jednotlivými aplikacemi podle aktuálního použití, v tomto případě v paralelním režimu se sítí nebo s externím *GEN* (*G EX*).

Nastavení vstupů a výstupů

Po spuštění programu a navolení aplikace je dalším krokem nastavení vstupů a výstupů. V základním programu jsou jednotlivé vstupy a výstupy nastavené pro obecné použití. V tomto případě bude nutné vstupy přenastavit dle potřeb této práce. Základní funkce jsou v *GenConfig* přednastavené a stačí tyto funkce pouze přiřadit k jednotlivým vstupům viz. *tabulka 6.1*. Pokud ovšem program funkci neobsahuje, jedná se o ochranu motoru a je nutné tuto ochranu nastavit podle potřeby. V tomto případě se jedná o hladinu chladicí kapaliny a teplotu motoru. Pokud se nejedná ani o ochranu motoru, je možné tuto funkci nakonfigurovat v PLC Editoru – podrobný popis je níže v textu.

Tabulka 6.1 Binární vstupy

Binární vstupy	Název	Logická funkce	Ochrana
BI1	1Q1(MCB) zapnut	MCB feedback	-
BI2	1Q2(GCB) zapnut	GCB feedback	-
BI3	Hladina chladicí kapaliny	-	Varování
BI4	Tlak oleje	Oil Press	-
BI5	Teplota motoru	-	Stop s dochlazením
BI6	Nouzový stop	Emergency stop	-
BI7	Aplikace SPtM	-	-
BI8	Aplikace MINT	Multiple enable	-
BI9	Rezerva	-	-
BI10	Rezerva	-	-
BI11	Rezerva	-	-

Nastavení binárních výstupů probíhá stejným způsobem, jako nastavení binárních vstupů. Jednoduše lze přiřadit připravené logické funkce k jednotlivým výstupům. Pokud se v nabídce přednastavených logických funkcí nenachází konkrétní potřebná logická funkce, je možné tuto funkci vytvořit a přiřadit k jednotlivým binárním výstupům. V tomto případě se jedná o BO5 – Vyrušení elektrické blokace, jejíž princip funkce bude vysvětlen dále v práci v podkapitole *PLC Editor*.

Tabulka 6.2 Binární výstupy

Binární výstupy	Název	Logická funkce
BO1	1Q1(MCB) ON!	MCB ON coil
BO2	1Q1(MCB) OFF!	MCB OFF coil
BO3	1Q2(GCB) ON!	GCB ON coil
BO4	1Q2(GCB) OFF!	GCB OFF coil
BO5	Vyrušení el. blokace	-
BO6	Rezerva	-
BO7	Rezerva	-
BO8	Rezerva	-
BO9	Rezerva	-
BO10	Startér	Starter
BO11	Stopovač	Fuel solenoid
BO12	Rezerva	-

Analogové vstupy se opět nastavují podobným způsobem. Rozdíl je v tom, že je nutné do systému nahrát čidlo, které se na měření využívá. Existují 3 možnosti:

- Proudové čidlo
- Napěťové čidlo
- Odporové čidlo

Volba čidla se provádí přehozením jumperu na *ŘJ*, který je u konkrétního analogového vstupu.

Druhou fází je vložení jednotlivých čidel do systému. V záložce *User Senzor* v programu *GenConfig* je nutné přidat jednotlivá čidla, případně těmto čidlům upravit charakteristiku podle vlastní potřeby, a nakonec tyto čidla přiřadit k analogovým vstupům.

Posledním krokem je nastavení ochran analogových vstupů. Základní nastavení je vypsáno v *tabulce 6.3*.

Tabulka 6.3 Analogové vstupy

Analogové vstupy	Název	Ochrana
AI1	Tlak oleje	Varování + zastavení
AI2	Teplota motoru	Varování + zastavení s dochlazením
AI3	Hladina paliva	Varování + zastavení

Nastavení setpointů

Popisem jednotlivých setpointů se práce nezabývá, protože všechny jsou podrobně rozepsané v manuálu k *ŘJ* ve *zdroji [7]*. Zde se práce zaměří především na popis konkrétního nastavení pro tuto aplikaci a jen na nejdůležitější setpointy. Zbytek nastavení

ŘJ bude dostupný v přílohách práce (*GEN_SPt-MINT_275kVA.ant*) a je zbytečné je zde uvádět.

Setpointy jsou pro přehlednost rozděleny do několika spolu souvisejících skupin. Podle názvů jednotlivých skupin je možné odvodit, k jakým parametrům se skupina vztahuje. Zde se zaměříme především na ty, které jsou pro tuto práci nejdůležitější – *ProcCtrlSingle*, *Basic settings* (Základní nastavení parametrů *GEN*), *Sync/Load ctrl* (Řízení otáček), *Volt/PF ctrl* (Ovládání buzení), *Analog protect* (Nastavení analogových ochran).

Groups
ProcCtrlMulti
ProcCtrlSingle
SUS control
Basic settings
Comms settings
Engine params
Engine protect
Gener protect
Mains protect
AMF settings
Pwr management
Sync/Load ctrl
Volt/PF ctrl
Force value
Load shedding
Timer settings
Act. calls/SMS
Date/Time
Analog protect

Obrázek 6.11 Skupiny setpointů

Obecná základní nastavení

Tabulka 6.4 ProcCtrlSingle

Název	Nastavená hodnota	[-]	Poznámka
I/E-Pm meas	IM3 CT INPUT	-	Měřicí metoda výkonu dodávaného ze sítě
I/E-Qm meas	IM3 CT INPUT	-	
Island enable	YES	-	Ostrovní režim
Parallel enable	YES	-	Paralelní režim
Synchro enable	BOTH	-	Synchronizace

Základní nastavení týkající se generátoru

Tabulka 6.5 Basic settings

Název	Nastavená hodnota	[-]	Poznámka
Nomin power	220	kW	Jmenovitý výkon generátoru
Nomin current	397	A	Jmenovitý proud generátoru
CT ratio prim	400	A	MTP primární strana generátor
CT ratio sec	5	A	MTP sekundární strana generátor
Im3/ErFICurCTp	400	A	MTP primární strana síť
Im3/ErFICurCTs	5	A	MTP sekundární strana síť
GenNomV	230	V	Jmenovité napětí generátoru L-N
GenNomVph-ph	400	V	Jmenovité napětí L-L
MainsNomV	230	V	Jmenovité napětí sítě L-N
MainsNomVph-ph	400	V	Jmenovité napětí sítě L-L
Nom frq	50	Hz	Jmenovitá frekvence
Gear teeth	FGen->RPM	-	Počet zubů na alternátoru
Nominal RPM	1500	Ot/min	Jmenovité otáčky

Nastavení týkající se synchronizace a řízení otáček

Tabulka 6.6 Sync/Load ctrl

Název	Nastavená hodnota	[-]	Poznámka
SpeedRegChar	NEGATIVE	-	Charakteristika regulátoru
Voltage window	10	%	Maximální rozdíl napětí generátoru a sítě během synchronizace
Freq reg loop	ALL THE TIME	-	Nastavení, kdy má ŘJ regulovat otáčky
Speed gov bias	5	V	Nastavení regulátoru otáček – podle obrázku 5.7
SpeedGovLowLim	4	V	
SpeedGovHiLim	6	V	

Nastavení regulace buzení

Tabulka 6.7 Volt/PF ctrl

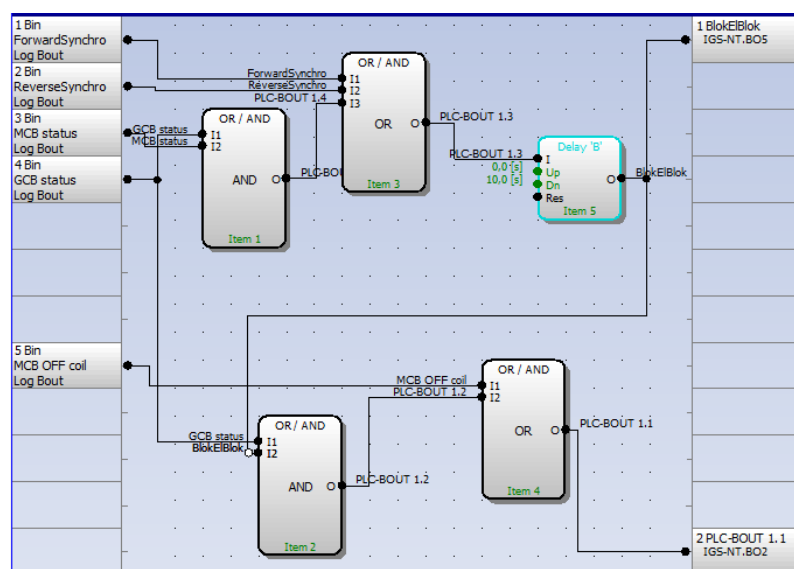
Název	Nastavená hodnota	[-]	Poznámka
AVRRegChar	POSITIVE	-	Charakteristika regulátoru
AVR DCout bias	50	%	Nastavení regulátoru buzení – podle obrázku 5.8

PLC Editor

Vzhledem k tomu, že *ŘJ IntelliGen NT BaseBox* je uzpůsobena pro základní řízení *GEN*, je většina funkcí připravena a postačí pouze k těmto přichystaným funkcím přiřadit hodnoty. V některých případech, jako je například tento, ale běžný program není ve všem vyhovující a je nutné drobných nebo i větších úprav. K těmto účelům slouží tzv. *PLC Editor*, který umožňuje vlastní úpravu programu *GenConfig* v *ŘJ*.

Zde je nutné provést pouze dvě drobné úpravy. Motorové jističe *MCB* a *GCB* jsou zapojeny tak, aby nemohlo dojít k jejich nechtěnému vzájemnému sepnutí. Je to provedeno pomocí tzv. elektrické blokace, kdy je přes kontakt jednoho jističe přivedeno napětí na vypínací cívku druhého jističe v případě napěťové cívky, a naopak v případě podpěťové cívky – viz. *obrázky 6.3 a 6.4*. V tom případě ovšem není nikdy možné jističe sepnout do sebe, pokud je požadavek na paralelní provoz. Z toho důvodu je v systému zabudováno vyblokování elektrické blokace v podobě relé 1K5 spínaného výstupem *ŘJ*. Tato funkce ovšem není standartní, ale je to jistá pojistka.

V *PLC Editoru* se tento problém vyřeší poměrně jednoduše, a to tím způsobem, že bude nastaveno následující. V případě dopředné nebo zpětné synchronizace nebo pokud je z *ŘJ* požadavek na společné sepnutí obou jističů. Tyto podmínky se zpozdí pomocí časovače a výstup je využit přímo na sepnutí relé 1K5. Úprava programu je vidět na *obrázku 6.12*.



Obrázek 6.12 PLC Editor – úprava programu

6.3.2 Intelli Monitor

Program *Inteli monitor* slouží k online monitoringu společně s možností změnou hodnoty setpointů bez nutnosti přehrávání programu do řídicí jednotky. Využití *Inteli Monitor* je výhodné např. ve chvíli prvotního spouštění generátoru, kdy je nutné měnit některé hodnoty kvůli testování správné funkčnosti systému. Jedná se především o řízení otáček,

regulaci buzení a otestování analogových ochran, podrobněji popsané v další kapitole.

6.4 Testování systému

6.4.1 Spouštění G1

Po uchycení rozváděče na konstrukci motoru a připojení ovládacích a napájecích kabelů (viz. výkresová dokumentace příloha A) je nutné vyzkoušet jednotlivé funkce a systém správným způsobem zprovoznit, aby nedošlo k poškození některé části stroje.

Start a zastavení motoru

Prvním a zásadním bodem je schopnost nastartování motoru a jeho následné zastavení. Po spuštění *ŘJ* je nutné vyzkoušet, že po stlačení stop tlačítka skutečně zapíná stopovač a tím pádem je možné motor kdykoliv zastavit. Když tato funkce funguje, je možné pokročit dále a otestovat roztočení motoru. Na *ŘJ* je nutné nastavit režim *MANU* a následně otestovat stisknutím startovacího tlačítka na zobrazovacím panelu. Pokud se motor spouští, je nutné ho následně zastavit pomocí stopovacího tlačítka na *ŘJ*. Když nezareaguje, je nutné motor zastavit stop tlačítkem, které již je otestováno z předcházejících kroků a následně hledat chybu.

Regulace otáček

Dalším krokem je otestování schopnosti regulovat otáčky pomocí elektronického regulátoru. Je nutné otestovat několik bodů, které souvisí se změnou hodnot některých setpointů. Tento test se provádí přímo během chodu motoru, kdy v programu *Inteli Monitor* provádí obsluha změny některých hodnot setpointů, které se v reálném čase zapisují do *ŘJ*, a sleduje jejich důsledky.

První fází je otestování změny rychlosti pomocí změny jmenovitých otáček ve skupině *Basic setting*. Je možné přidat, případně ubrat otáčky nebo frekvenci a sledovat změny.

Další fází je test ovládání rychlosti přímo pomocí změny ovládacího napětí z *ŘJ* do regulátoru otáček. V *tabulce 6.6* je vidět skupina setpointů *Sync/Load ctrl*. Z této skupiny je v této chvíli důležitá především hodnota *Speed gov bias*, která určuje nominální hodnotu otáček a podle *manuálu [7]* případně *obrázku 5.7* je tato hodnota nastavena na 5 V a její změny směrem nahoru a dolů upravují hodnotu otáček až do hodnoty minima a maxima, které jsou v tomto případě podle manuálu *SpeedGovLowLim=4 V* a *SpeedGovHiLim=6 V*. Změní-li se velikost napětí, je nutné sledovat, zda se správně s touto změnou mění i otáčky motoru.

Zároveň je také nutné nastavení správné charakteristiky NEGATIVE/POSITIVE. V tomto případě, dle *manuálu [7]* je charakteristika NEGATIVE, což znamená, že se otáčky mění nepřímo úměrně hodnotě regulačního napětí.

Buzení

Krok číslo tři je otestování správné regulace buzení. Tato fáze probíhá velmi podobně, jako předchozí fáze. Testování se opět provádí za chodu generátoru bez připojené zátěže. Pro regulaci buzení je důležitá *tabulka 6.7*, kde jsou vidět hlavní setpointy ze skupiny *Volt/PF ctrl*. Znovu podle manuálu, případně *obrázku 5.8* je vidět nastavení základních setpointů. Charakteristika je v tomto případě nastavena na POSITIVE. Hlavní hodnota, která souvisí se změnou buzení je *AVR DCout bias*, jejíž nominální hodnota je v tomto případě nastavena na 50 %. Změnou této hodnoty v programu *Inteli Monitor* je možné dosáhnout změny budícího napětí a tím pádem změny výstupního napětí generátoru.

Havarijní odstavení motoru

Dalším krokem je otestování nouzového odstavení motoru, které souvisí především s analogovými, někdy binárními čidly vyvedenými do řídicí jednotky. Seznam čidel umístěných na tomto konkrétním soustrojí je v *tabulce 5.1*.

Nastavení těchto ochran závisí na zvolených konkrétních čidlech. Test binárních čidel se provede za chodu motoru tak, že pomocí vodiče je nutné uměle propojit svorky čidla na kostru motoru a *ŘJ* musí motor odstavit nebo vyhlásit varování v závislosti na nastavení konkrétního čidla.

Test analogových čidel probíhá s pomocí programu *Inteli Monitor*, kdy ve skupině setpointů *Analog protect* dochází ke změně jednotlivých limitů a tím se dosáhne zastavení případně vyhlášení varování.

6.4.2 Test do zátěže v ostrovním režimu

Pro otestování systému do zátěže bylo použito odporové zátěže, která má možnost po minimálně 30 kW skočích odebírat až 480 kW. Jedná se o externí zátěž složenou z jednotlivých odporových zátěží chlazených ventilátorem o výkonu 3 kW. Zátěž je umístěna na vozíku za auto, a to z důvodu možnosti jednoduchého převozu. Zátěž je vidět již připojena na svorky zálohy generátoru na *obrázku 6.13* uprostřed (modrá kapota).



Obrázek 6.13 Externí GEN (*G EX* a *TI*) - vlevo, Odporová zátěž - uprostřed, *G1* - vpravo

Nejprve proběhlo několik samostatných testů generátoru *G1* do zátěže během ostrovního provozu. Testy proběhly z důvodu ověření správné funkce regulace otáček při změně zatížení. Nejprve při postupném zatěžování, odlehčování a následně při skokovém zatížení.

Zatěžovací testy *G1* při chodu v ostrovním režimu:

1. Postupné zatěžování *G1* po skocích 30 kW – *obrázek 6.14*
2. Postupné odlehčování *G1* po skocích 30 kW – *obrázek 6.15*
3. Postupné zatěžování *G1* po skocích 60 kW – *obrázek 6.16*
4. Postupné odlehčování *G1* po skocích 60 kW – *obrázek 6.17*
5. Skokové zatížení *G1* na 90 kW
6. Skokové zatížení *G1* na 90 kW
7. Skokové zatížení *G1* na 120 kW – *obrázek 6.18*
8. Skokové odlehčení *G1* ze 120 kW na 3 kW (chlazení zátěže) – *obrázek 6.18*

Na grafech postupného zatěžování a odlehčování je vidět, že regulátor otáček a napětí funguje poměrně dobře. Při skocích po 30 kW směrem nahoru frekvence spadne přibližně o 1 Hz, ale okamžitě je regulátorem otáček (*SpdRegOut*) doladěna zpět na 50 Hz. To stejné platí o napětí, kde pokles napětí není téměř znatelný (*VoltRegOut*). Graf je vidět na *obrázku 6.14*.

Při postupném skokovém odlehčování po 30 kW regulátor opět reguluje poměrně dobře, frekvence se opět během odlehčení nevychýlí o více než 1 Hz, nyní samozřejmě směrem nahoru a napětí je také v mezích.

Během postupného zatěžování po 60 kW skocích otáčky stále drží poměrně dobře. V době připnutí dalšího stupně zátěže dojde k vychýlení frekvence o něco málo více než 1 Hz. V jeden moment je vychýlení vyšší – *obrázek 6.16* v čase 3:04:000, kdy je vidět zákmit frekvence přibližně o 2 Hz. Nicméně regulátor okamžitě otáčky opět dorovná. K těmto zákmitům obecně docházet může, důležité však je, aby regulace otáček fungovala správným způsobem a frekvence byla rychle dorovnána zpět na 50 Hz.

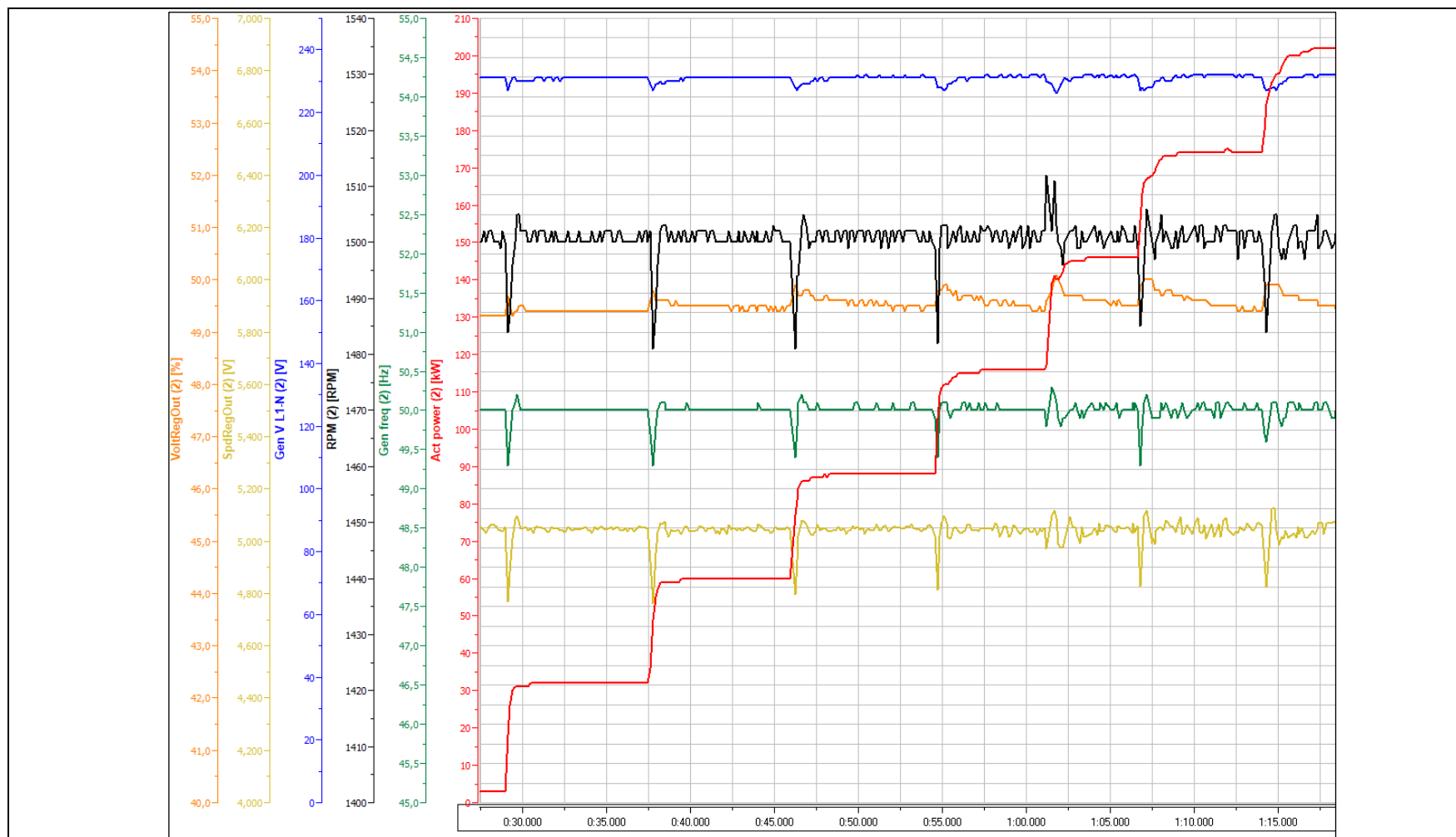
Během postupného odlehčování po 60 kW regulátor opět fungoval správným způsobem a bylo možné přistoupit na další stupeň zatěžování. Test byl proveden také pro skokové zatížení a odlehčení *G1* po 90 kW, kde opět neproběhl žádný zásadní problém a regulace zafungovala správným způsobem. Tento skok byl proveden pouze jedním stupněm, pokud by došlo k připojení druhého stupně 90 kW – celkem na 180 kW, tak by to generátor s velkou pravděpodobností nezvládl. Graf pro skokové zatížení 90 kW v práci není zahrnut, ale je možné ho nalézt v přílohách práce.

V prvním kroku, to znamená po nastartování a stabilizaci by měl *GEN* zvládnout převzít minimálně polovinu zátěže ze své jmenovité hodnoty. V tomto případě se jedná o generátor o činném výkonu 220 kW (*Stand-by*). Z toho vyplývá, že by měl *G1* v prvním kroku zvládnout převzít 110 kW. Tento předpoklad se potvrdil a *G1* převzal skokově dokonce 120 kW. Frekvence byla v moment převzetí zátěže značně vychýlena od 50 Hz, nicméně regulátor otáček opět poměrně rychle zvládl frekvenci srovnat. To stejné platí pro skokové odpojení zátěže 120 kW – *obrázek 6.18*.

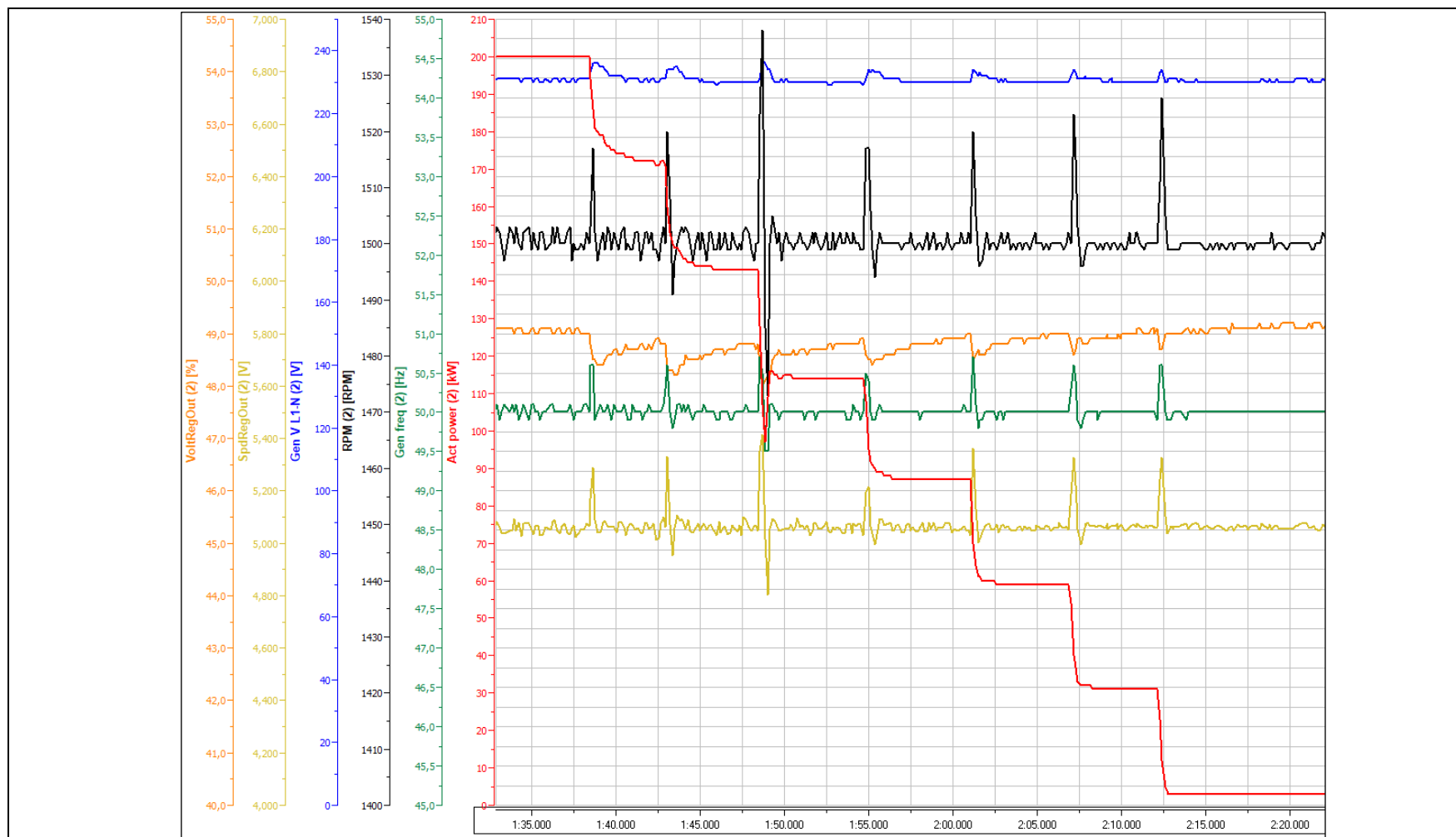
Z *obrázku 5.6* je jasné, že regulátor otáček je negativní, to znamená že zde funguje nepřímá úměra. Čím vyšší napětí na regulátoru, tím nižší otáčky a naopak. V grafech na *obrázcích 6.14 – 6.18* je vidět, že v momentě zvýšení zátěže poklesnou otáčky a zároveň dojde ke snížení napětí na regulátoru. To je z toho důvodu, že regulátor v té chvíli potřebuje otáčky dorovnat na 1500 min^{-1} . Podle pravidla nepřímé úměry popsané výše je jasné, že regulátor funguje správným způsobem.

Podobně funguje regulátor buzení. Jediný rozdíl je v tom, že je pozitivní – *obrázek 5.8*.

Celé testování postupného a skokového zatěžování probíhá v režimu *MANU*, kdy je možné manuálně nastartovat generátor a sepnout jistič. Bylo by možné použít i režim *AUTO*, kdy *ŘJ* automaticky vyhodnotí nepřítomnost sítě, nastartuje *G1* a sepne jistič. Nicméně vhodnější je režim *MANU*.

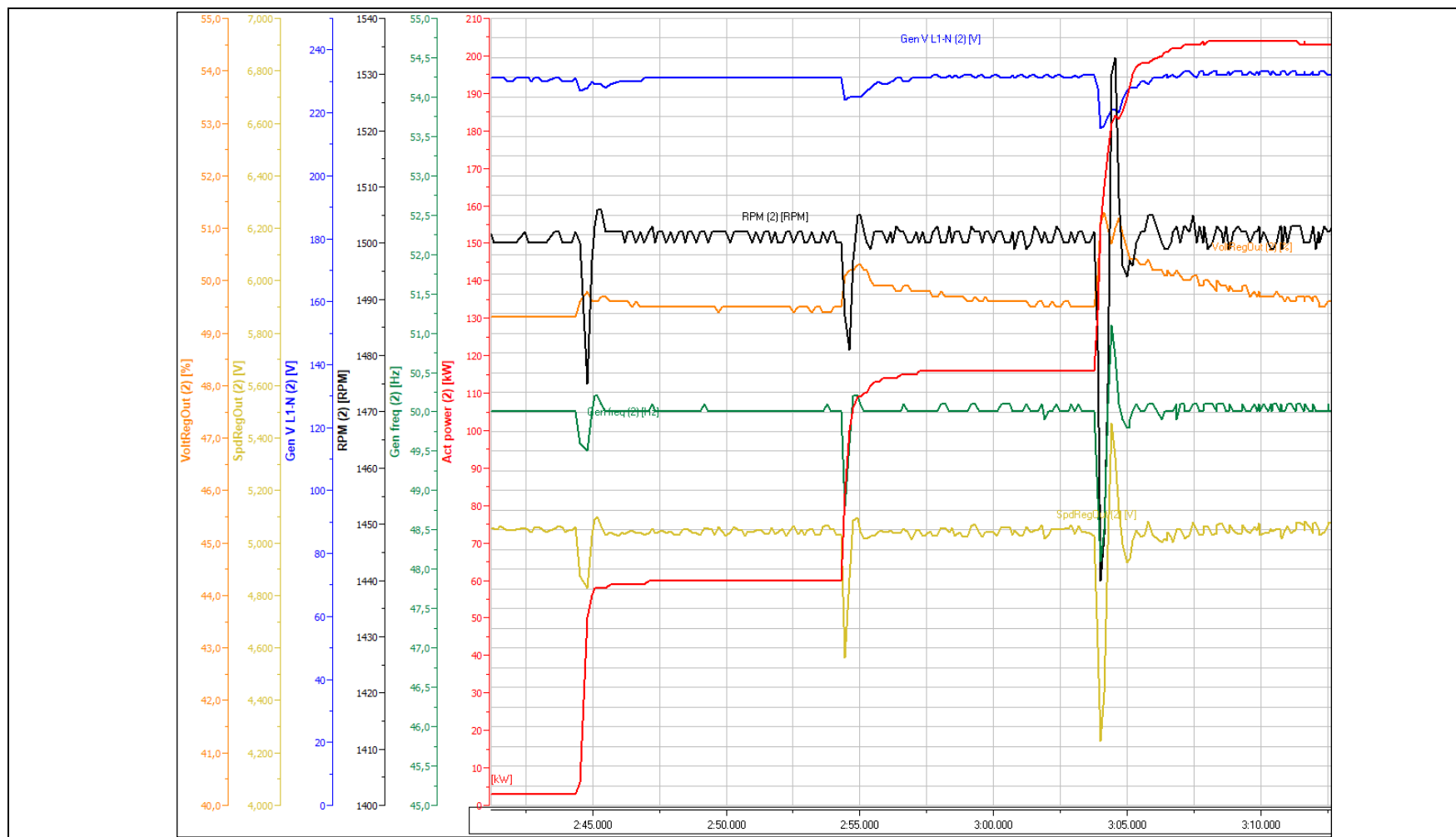


Obrázek 6.14 Postupné zatěžování *G1* po 30 kW

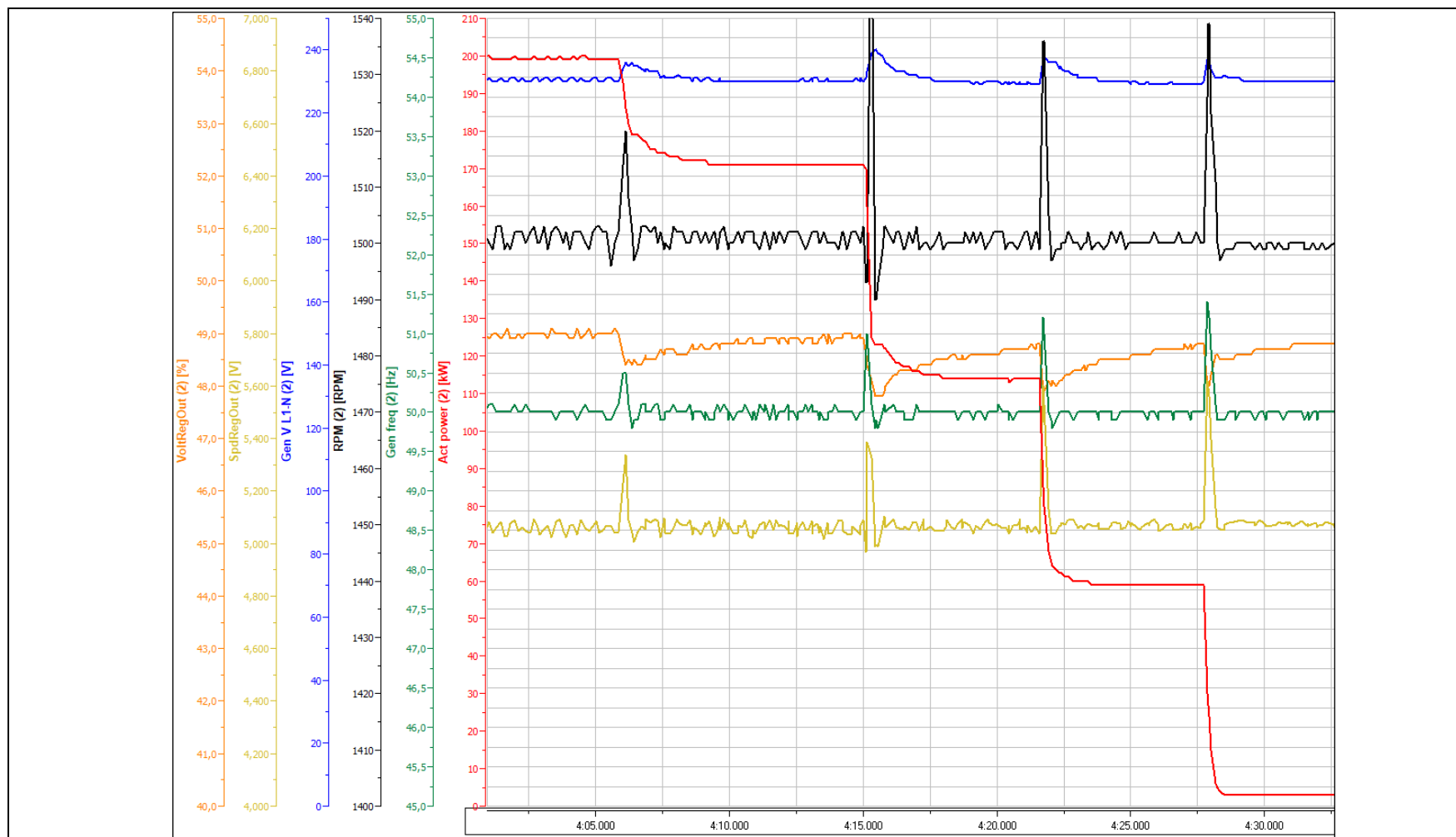


Obrázek

6.15 Postupné odlehčování *G1* po 30 kW

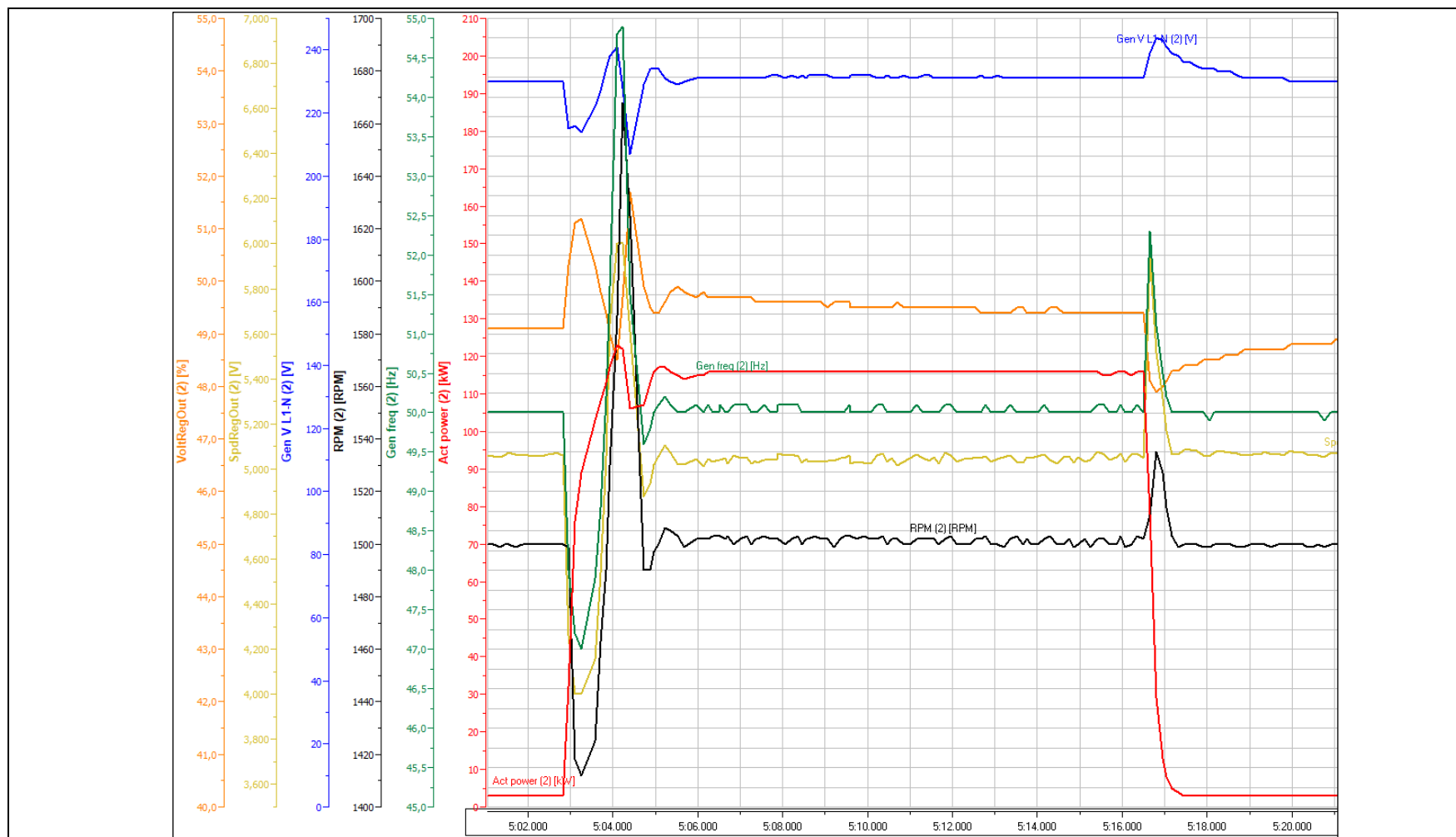


Obrázek 6.16 Postupné zatěžování G1 po 60 kW



Obrázek

6.17 Postupné odlehčování *G1* po 60 kW



Obrázek 6.18 Skokové zatížení a odlehčení G1 po 120 kW

6.4.3 Test do zátěže v paralelním režimu

V kapitole 5.3 byly popsány dva režimy, ve kterých systém bude pracovat: *SPtM* – paralelní provoz *G1* se sítí *T1* a *MINT* – paralelní provoz dvou nezávislých *GEN* – *G1* a *G EX*. Systém bude v budoucnu pracovat v obou režimech, nicméně tato práce řeší především paralelní provoz *G1* + *T1*.

Pro otestování systému v paralelním režimu bylo nutno použít dostatečně tvrdý zdroj napětí, a jelikož nebyla k dispozici přípojka sítě s dostatečným výkonem, bylo využito druhého *GEN*, který v tomto případě simuluje síť *T1*. K dispozici byl externí *GEN* o výkonu 200 kW, který byl připojen na svorky *L1S*, *L2S*, *L3S* a *PEN* rozváděče viz. schéma na obrázku 6.1. Externí *GEN* je vidět na obrázku 6.13 vlevo (šedá kapota).

Pro následující grafy je nutné definovat více měřených veličin a objasnit některé označení. Oproti měření v ostrovním režimu přibýly veličiny související se sítí, v tomto případě se jedná o veličiny externího *GEN*, který síť nahrazuje. Veličiny měřené ze sítě *T1* jsou v následujících grafech všechny s příponou (1). Veličiny s příponou (2) jsou veličiny související s *G1*.

Kromě *činného výkonu* (Act power), *frekvence* (Gen freq), *otáček* (RPM), *regulátoru buzení* (VoltRegOut) a *regulátoru otáček* (SpdRegOut) přibyl úhel natočení fázorů mezi *T1* a *G1* – *Angle* (1) a *Angle* (2). *Angle* (1) představuje natočení fázorů napětí sítě *T1* a je trvale v nulové hodnotě a *Angle* (2) představuje vychýlení fázorů *G1* oproti fázorům sítě *T1*.

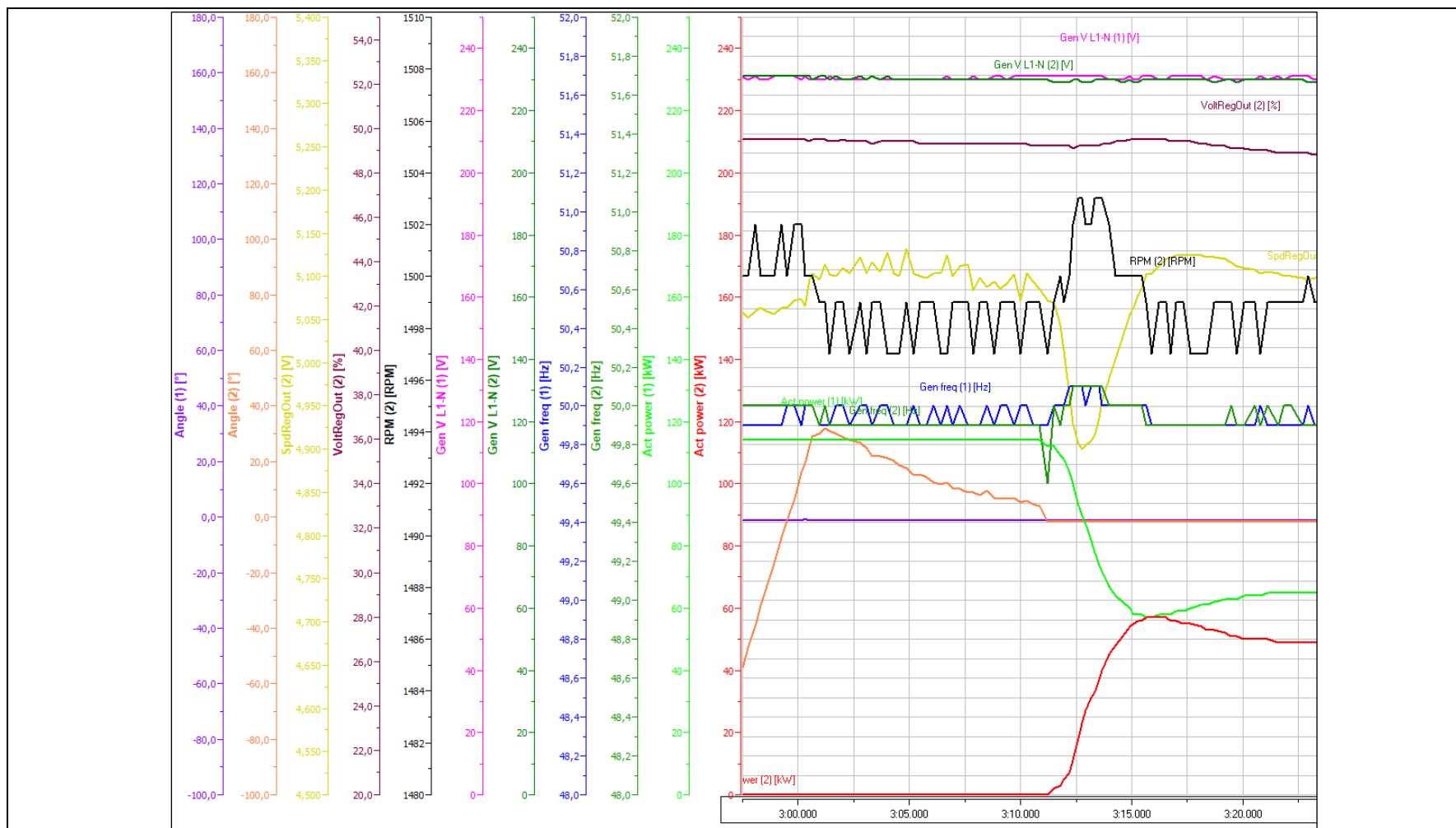
Jako první bylo provedeno měření přifázování *G1* na *T1* a následné předávání výkonů ze sítě na *G1*. Je nutné upozornit, že frekvence *Gen freq* (1) představující frekvenci sítě *T1* zde není absolutně tvrdá, protože jak již bylo řečeno výše, síť je nahrazena externím *GEN*.

Měření bylo opět prováděno v režimu *MANU*. Fázování bylo zahájeno po nastartování a stabilizaci *G1* pomocí tlačítka pro sepnutí jističe *GCB* na zobrazovacím panelu. Začátek fázování je vidět na obrázku 6.19 v čase asi 3:01:000. Je vidět, že regulátor otáček zareagoval a *ŘJ* začala vydávat povel pro snižování otáček a dorovnávání *Angle* (2) do *Angle* (1) rovno 0°.

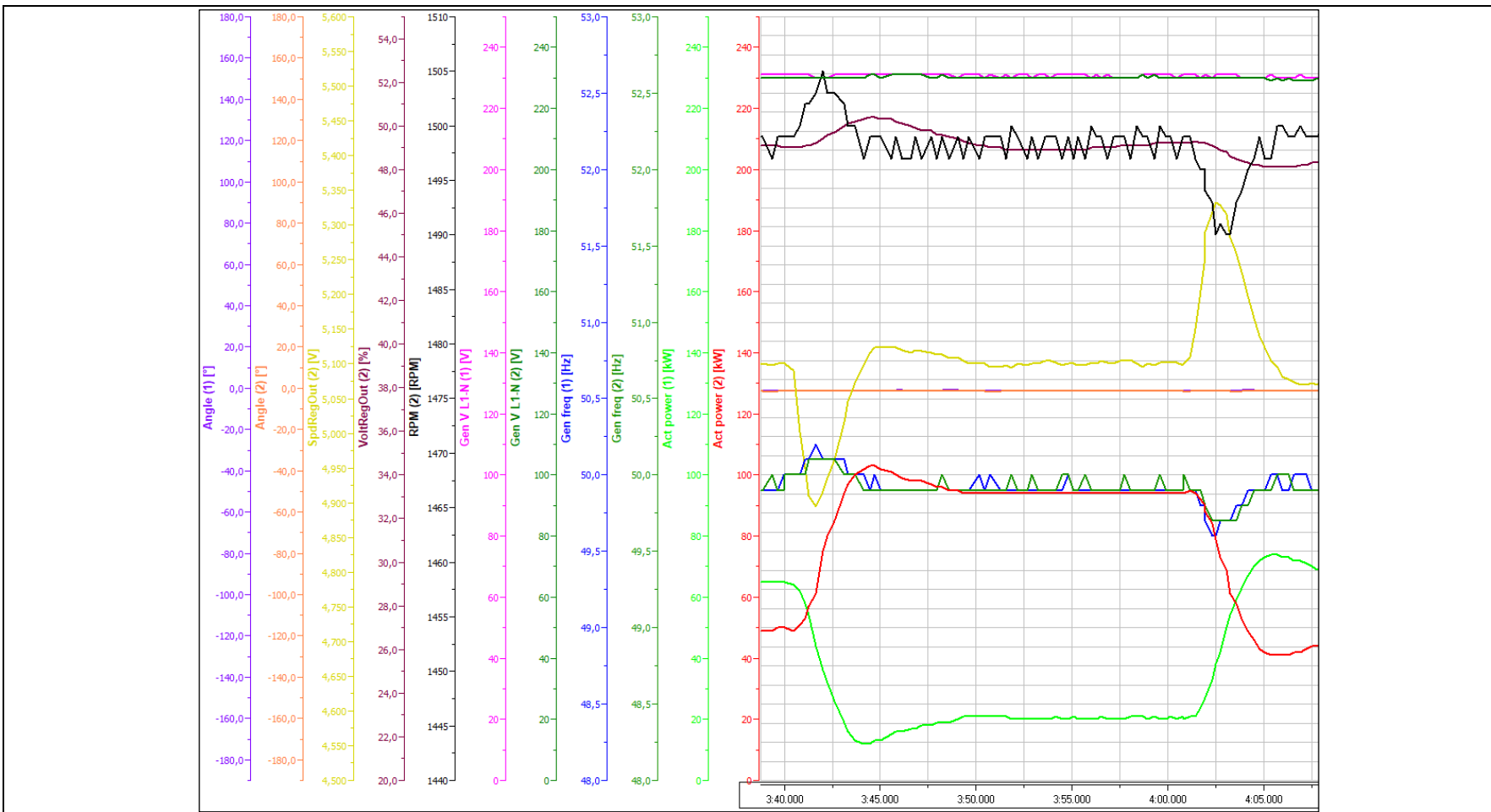
V čase přibližně 3:12:000 je vidět srovnání fázorů a připojení *GCB*. V tento moment začal *G1* postupně přebírat zátěž. Hodnota výkonu, který bude *G1* přetláčet do sítě je omezena setpointem *Import load* – v tomto případě na hodnotu 30 kW. Na síti tedy zůstává zbytek zátěže až do chvíle, než bude provedena změna hodnoty tohoto setpointu.

Na obrázku 6.19 je vidět chod v paralelním režimu a zároveň přelévání výkonu ze sítě *T1* na *G1*, a naopak pomocí změny hodnoty setpointu *Import load*. V čase 3:40:000 byla změněna hodnota *Import load* na 100 kW a v čase přibližně 4:02:000 byla hodnota setpointu změněna na hodnotu asi 45 kW.

Na dalším obrázku 6.20 je vidět přenesení celé zátěže na *G1* a odepnutí jističe sítě.

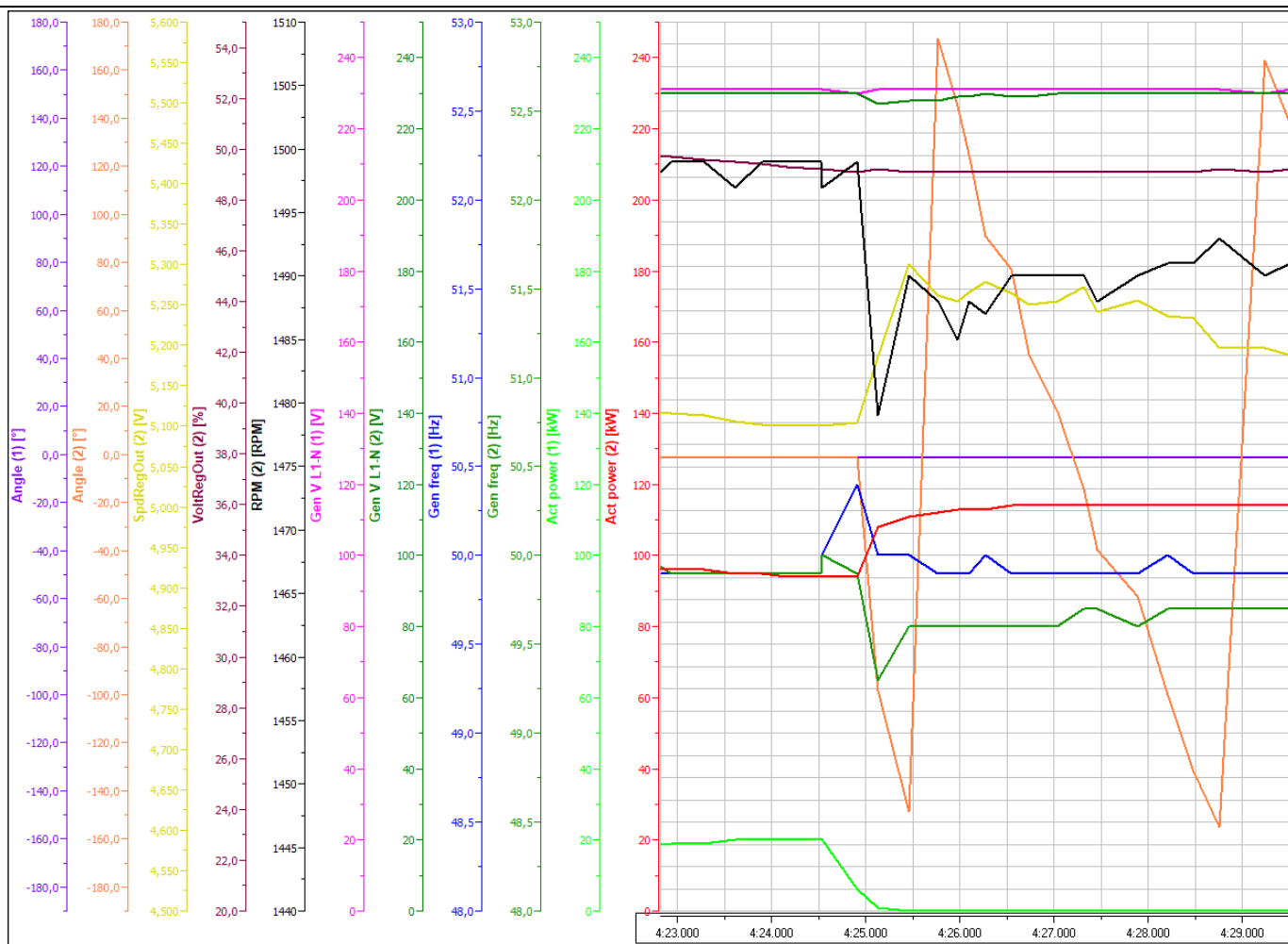


Obrázek 6.19 Přifázování *G1* na síť *T1* a vyrovnání zátěže



Obrázek

6.20 Paralelní chod *G1* a *T1* – přelévání zátěží pomocí setpointu *Import load*



Obrázek

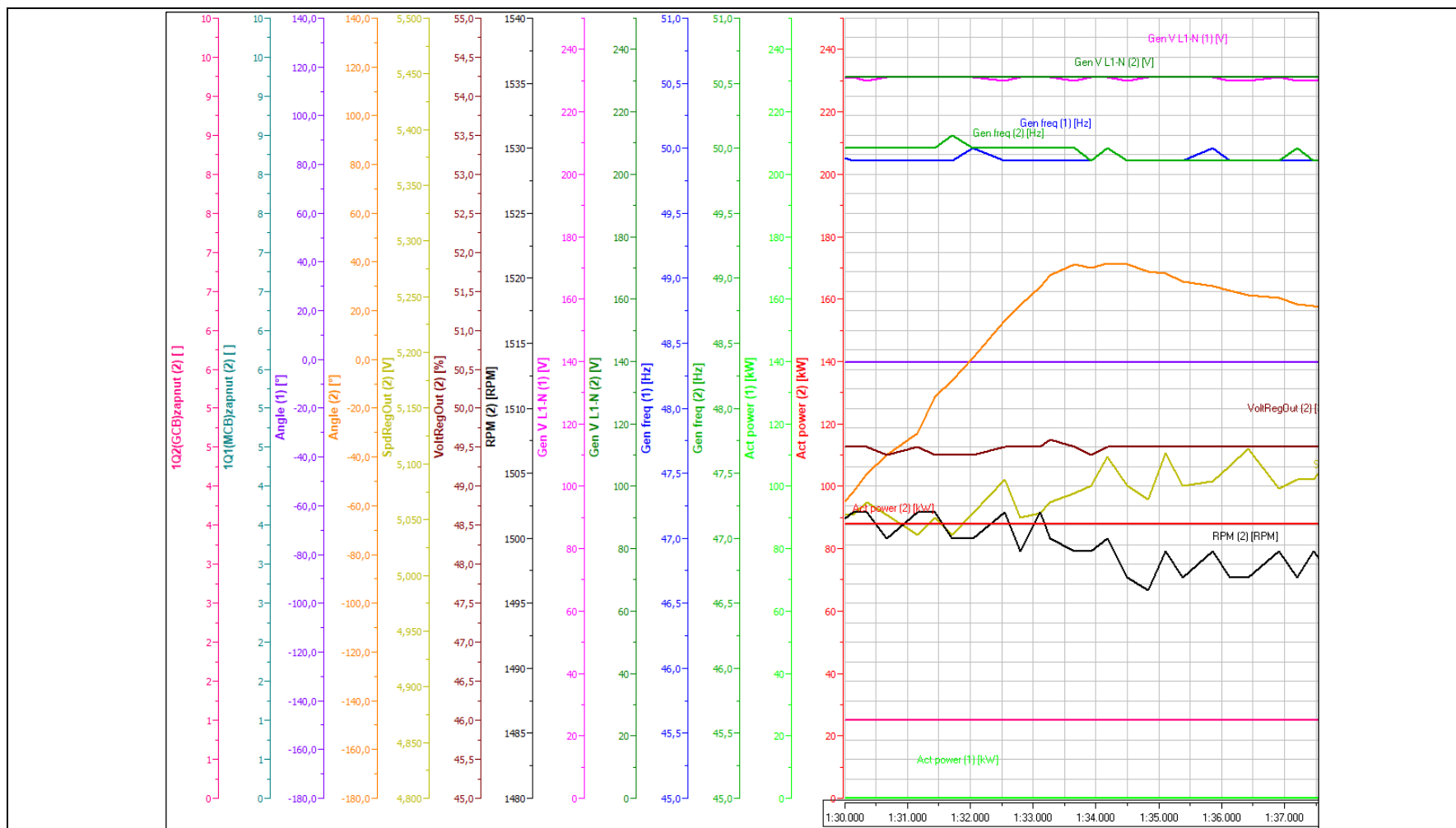
6.21 Přebíání celé zátěže ze sítě *T1* na *G1* a odepnutí *MCB*

6.4.4 Další testy

Jeden z dalších testů byl test bezvýpadkového přenesení zátěže na síť v případě výpadku sítě a následném návratu sítě, který probíhá v režimu *AUTO*. Návrat sítě byl v tomto případě vytvořen uměle. Na *ŘJ* byl nastaven režim *MANU* a v chodu byly oba *GEN – G1* i externí *GEN (T1)* a zátěž byla napájena pouze z *G1*. Ve chvíli, kdy byla *ŘJ* přepnuta do režimu *AUTO* byla nadetekovaná síť a bylo zahájeno zpětné fázování – *obrázek 6.22*. Je vidět, že regulátor otáček začíná upravovat otáčky a v závislosti na této změně se začíná zmenšovat úhel mezi fázory *G1* a sítě.

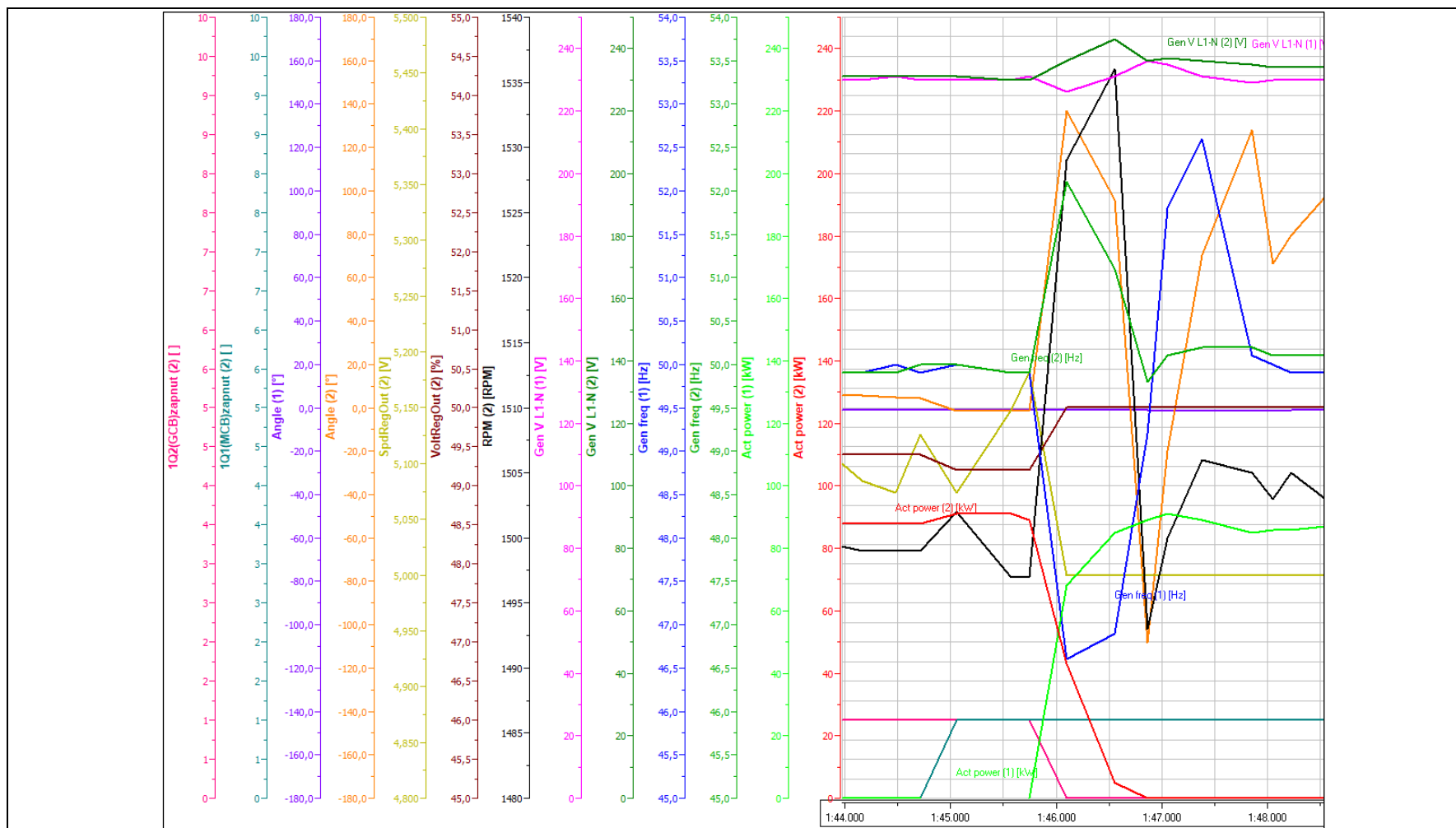
Pokračování děje na *obrázku 6.22* je vidět na *obrázku 6.23*. Podobně jako v předchozí podkapitole je vidět moment, kdy se dorovnají fázory a navíc je zde vidět i připnutí jističe *MCB*. Následně dojde k předání zátěží a odepnutí jističe *GCB*. Můžeme zde vidět poměrně velký zákmit frekvence sítě (*Gen freq (I)*), a to z důvodu již řečeném výše, protože se nejedná o distribuční síť, ale pouze o náhradu v podobě externího *GEN*.

Nakonec byly provedeny i testy v režimu *MINT* – paralelní chod dvou *GEN* a jsou k nahlédnutí v přílohách. Nicméně v této práci rozebírány nebudou.



Obrázek

6.22 Začátek fázování při návratu na síť



Obrázek 6.23 Návrat na síť a předání zátěže

Kompletní záznamy všech následujících testů se nachází v přílohách v souborech:

- 2005144.STD – postupné a skokové zatěžování *GI* v ostrovním režimu
- 2005146.STD – paralelní chod sítě *TI* a *GI* + přelévání výkonů
- 2005148.STD – zpětný návrat z *GI* na síť *TI* po výpadku
- 2005149.STD – paralelní chod *GEN* + *EX GEN* a společné zatěžování

Soubory je možné prohlížet v programu *WinScope*, který je dostupný v trial verzi na webových stránkách <https://www.comap-control.com/>.

ZÁVĚR

První kapitola práce se zabývá záložními zdroji obecně. Nejdříve byly popsány obecné principy a možnosti použití záložních zdrojů v praxi a následně byly popsány jednotlivé možnosti podrobněji. První část se věnovala naftovým a benzínovým elektrocentrálám a druhá použitím záložních zdrojů nepřetržitého napájení UPS.

Druhá kapitola byla zaměřena na teoretickou část práce, a to konkrétně na základní popis synchronních strojů a možnosti jejich provozu. Bylo popsáno náhradní schéma zapojení a použití synchronního stroje v ostrovním provozu. Poslední část této kapitoly se věnovala použití synchronních generátorů paralelně s jiným zdrojem napětí. Byl popsán princip fázování generátorů a následně zatěžování.

Třetí kapitola již cílila na konkrétní soustrojí motor-generátor, které bude v budoucnu použito. Typ motoru je *Volvo Penta TAD740GE* s výkonem 240 kW a bude pracovat na společné hřídeli s alternátorem *MarelliGenerators MJB 250 LB4* o maximálním výkonu 275 kVA.

Čtvrtá a pátá kapitola je zaměřena na řízení celého systému. Ve čtvrté kapitole je popsáno, jakým způsobem je nutné řídit motor a alternátor a jaká řídicí jednotka je pro toto řízení nejvhodnější.

Další kapitola je věnována již konkrétním prvkům, které budou použity pro řízení. Je zde popsána řídicí jednotka *ComAp IntelliGen NT BaseBox*, která je pro účely této práce vhodná a také ostatní prvky, které budou použity.

Dále se práce zaměřuje na přípravu k realizaci projektu, která spočívá především ve vytvoření výkresové dokumentace. Jsou zde vyzdvihnuty nejdůležitější části výkresové dokumentace s jejich popisem. Kompletní výkresová dokumentace je k nalezení v přílohách této práce.

Nakonec je v práci popsána samotná realizace projektu. Je zde sepsán postup sestavení rozváděče a uchycení ke konstrukci. Následně práce čtenáře seznámí s programem *GenConfig* a *InteliMonitor*, pomocí kterých se programuje ŘJ *ComAp*. Kapitola obsahuje stručný popis a vysvětlení toho, jak program funguje a jakým způsobem je nutné provést nastavení ŘJ. Jsou zde popsány jednotlivé vstupy a výstupy ŘJ s jejich funkcemi a základní nastavení nejdůležitějších setpointů a ochran, které jsou nezbytné. Poslední část týkající se ŘJ je *PLC Editor*, který v tomto případě nemá mnoho využití, ale byla zde provedena jednoduchá úprava programu kvůli vyšší celkové bezpečnosti systému.

Finální část kapitoly věnující se realizaci projektu je o samotném testování systému. Nejprve je zde popsáno, jakým způsobem je nutné GEN uvést do chodu a otestovat všechny ochrany a regulace a následně se práce věnuje hlavnímu cíli této práce, kterou je paralelní chod generátoru se sítí.

Protože nebylo možné systém testovat přímo se sítí, bylo nutné přistavit druhý externí GEN a použít tento GEN jako simulaci sítě TI. Bylo nutné, aby externí GEN měl kvalitní

regulaci otáček a byl schopen držet stabilní frekvenci, jinak by pravděpodobně nebylo možné systém otestovat. Tento požadavek se nakonec splnil a systém byl otestován.

Aby testy byly vypovídající, byla použita i odporová zátěž se schopností odebírat až 420 kW a schopností regulace po skocích ± 30 kW.

Výsledky testování jsou popsány v poslední části práce, kde jsou umístěny i naměřené hodnoty vynesené do grafů. Bylo provedeno několik testů – postupné a skokové zatěžování *G1* v ostrovním režimu, přifázování *G1* na síť *T1* a regulace výkonů + přenesení zátěže na *G1* a zpět, bezvýpadkový návrat na síť *T1* v režimu *AUTO* v případě návratu sítě, a další.

Všechny testy byly úspěšné a byl vytvořen systém, který je v tomto stavu použitelný jako mobilní naftová elektrocentrála na kolech, v případě potřeby může být převezena a použita jako záložní nebo výpůjčková. Systém zvládne pracovat jak samostatně (*G1* v ostrovním režimu), tak v aplikacích *SPtM* (*G1* paralelně se sítí *T1*) a *MINT* (*G1* paralelně s jiným *GEN* - *G EX*, kde je ovšem podmínkou, aby oba systémy obsahovaly řídicí jednotku ComAp, schopnou komunikovat s ŘJ na *G1*). O aplikaci *MINT* je v práci zmínka a systém je k tomuto provozu připravený a otestovaný, ale práce se jím podrobně nezabývá.

Dále je možné systém provozovat v režimech *AUTO*, kdy automaticky reaguje na výpadky a chová se jako standartní záskok sítě a *MANU*, kdy je možné manuálně ovládat motor a přepínat motorové jističe.

LITERATURA

- [1] What-are-the-major-components-parts-of-a-diesel-generator. In: Pumps Africa [online]. Odyssey Plaza, Mkomboi Road, Nairobi, Kenya: Pumps Africa News [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <http://www.pumps-africa.com/what-is-a-diesel-generator/>
- [2] Topologie zdrojů nepřerušovaného napájení (UPS). ElektroPrůmysl: Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky [online]. Hajany: ElektroPrůmysl.cz, 2011 - 2020, 9. prosince 2019 [cit. 2020-11-03]. Dostupné z : <https://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/topologie-zdroju-nepreerusovaneho-napajeni-ups>
- [3] MORAVEC, Jan. Záložní zdroje elektrické energie - 1.díl: Úvod do problematiky. OEnergetice.cz [online]. Třebíč: OM Solutions, 9. října 2015 [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/zalozni-zdroje-elektricke-energie-1-dil-uvod-do-problematiky>
- [4] Synchroscope. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Synchroscope>
- [5] MIKEŠ, Jan. Synchroskop. ProfiElektrika.cz [online]. Elektrika.info, 2020, 18. února 2016 [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/synchronoskop>
- [6] 6. SYNCHRONNÍ STOROJE. In: Moodle.fel.cvut [online]. [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=24903>
- [7] VYDRA, Tomáš. Inteli New Technology: Installation guide [online]. In: . 3.1.0. Praha: ComAp, ©2010, 2019, s. 149 [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: https://www.comap-control.com/getcomapfile/bilLi-XeHoL1ATTfTr2O2GSXXCu4g-pteTSfVORE7tDcbGHeudD2wQhmSNtQm_j8WKd_FHhcVROezZcKGqBfYoIMMq_Ce23HStOeZ8cPIckUQl_6dni7mkixpTXPijh70/IGS-NT-Installation-Guide-07-2020.pdf.aspx
- [8] ONDRŮŠEK, Čestmír. Elektrické stroje. 103s. Vysoké učení technické v Brně. Skripta
- [9] VOLVO PENTA GENSET ENGINE: TAD740GE. In: Volvo Penta [online]. Göteborg, Sweden: AB Volvo Penta, 2005 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://www.sramoteur.com/uploads/catalogue/produits/documentations/tad740ge-tad740ge.pdf>
- [10] MarelliGenerators: THREE PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR MJB 250 LB4. In: Marelli Motori: Powering the future [online]. Marelli Motori, 2018 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://generatortoka.ru/files/MJB-250-LB4.pdf>
- [11] MAREŠ, Pavel. Inteli New Technology Modular Gen-set Controller: COMBI – Combined applications SPtM, SPI and MINT [online]. In: . Praha:

- ComAp, 2010, 2018, s. 149 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: https://www.comap-control.com/getcomapfile/32fgV78kicYwyvABndDW3eS3P8-bfxAF2ab5Sd2YI6-Kvhlx_8QKOxF_ndLbS1EUny2mfbkYQT30twPXY9U2uwp82FHmW5kzGTeNEDmKe9YAz7bwyDXJ6jb7_yhqOzuI0/IGS-NT-Combi-3-1-0-Reference-Guide-r3.pdf.aspx
- [12] Marelli AVR M40FA640A/A Voltage Regulator. In: Every China: Buy From China Factory [online]. everychina.com, 2011 - 2020 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <http://electronic-gen-com.sell.everychina.com/p-108127821-marelli-avr-m40fa640a-a-voltage-regulator.html>
- [13] M40FA640A/A - Mark I: User Manual. In: Motortech [online]. Motortech, 2020, 2010 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: https://mototech.ru/manuals/marelli_motori_avr_m40fa640a.pdf
- [14] ComAp [online]. Praha: ComAp [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://www.comap-control.com/>
- [15] Předehřev motoru. In: Carheating [online]. carheating, 2021 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.carheating.cz/predehrev-motoru/>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
DA	Diesel-agregát
GEN	Obecný generátor poháněný naftovým nebo kterýmkoliv jiným pohonem
G1	Soustrojí motor-generátor použitý v této práci
T1	Označení pro distribuční síť
G EX	Externí generátor
PLC	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)
UPS	Uninterruptible power supply (zdroj nepřerušovaného napájení)
ŘJ	Řídicí jednotka
ATS	Automatic transfer switch (Automatický přepínač napájení)
CBS	Central battery systém (nouzový systém s centrální baterií)
DC	Stejnoseměrný proud
AC	Střídavý proud
BOC	Breaker open and cool (vypnout jistič a chladit)
MCB	Jistič sítě ovládaný motorovým pohonem
GCB	Jistič generátoru ovládaný motorovým pohonem
AUTO	Automatický režim ŘJ, kdy jednotka provádí automatickou zálohu sítě při výpadku tj. nastartování GEN a operace se stykači
MANU	Manuální režim ŘJ, kdy je možné jednotlivé operace provádět z operátorského panelu
OFF	Režim ŘJ, kdy jednotka neprovádí žádné operace
TEST	Testovací režim ŘJ, kdy ŘJ provádí předem nastavenou testovací sekvenci
ECU	Electronic control unit (elektronická řídicí jednotka motoru)
MTP	Měřicí transformátor proudu

Symbols:

\hat{U}	svorkové napětí stroje	(V)
\hat{U}_i	vnitřní indukované napětí	(V)
\hat{U}_{if}	celkové indukované napětí	(V)

X_{σ}	rozptylová reaktance	(Ω)
X_{ad}	magnetizační reaktance	(Ω)
R	odpor vinutí kotvy	(Ω)
\hat{I}	proud jedné fáze statoru	(A)
\hat{U}_f	budící napětí	(V)
R_f	odpor buzení	(Ω)
\hat{I}_f	budící proud	(A)
\hat{I}_{μ}	výsledný fiktivní magnetizační proud	(A)
\hat{U}_0	napětí naprázdno	(V)
n	otáčky stroje	(min^{-1})
P	výkon	(W)
$\cos\varphi$	účinník	(-)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - DP – PLÁNY ROZVÁDĚČE RATS.....	82
PŘÍLOHA B - PŘILOŽENÉ CD.....	101

Příloha A - DP – plány rozváděče RATS

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																												
									F26_001_Martin																												
Martin ČERNÝ																																					
<table border="1"> <tr> <td>Objednatel projektu</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Investor</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zakázka</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Popis projektu</td> <td>Diplomová práce</td> </tr> <tr> <td>Číslo výkresu</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Typ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Místo instalace</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Projektoval</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zpracoval</td> <td>Martin ČERNÝ</td> </tr> <tr> <td>Kontroloval</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schválil</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Začátek projektu</td> <td>14.12.2020</td> </tr> <tr> <td>Poslední změna</td> <td>05.04.2021 od (zkratka) cerny</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Počet stran 19</td> </tr> </table>										Objednatel projektu		Investor		Zakázka		Popis projektu	Diplomová práce	Číslo výkresu		Typ		Místo instalace		Projektoval		Zpracoval	Martin ČERNÝ	Kontroloval		Schválil		Začátek projektu	14.12.2020	Poslední změna	05.04.2021 od (zkratka) cerny	Počet stran 19	
Objednatel projektu																																					
Investor																																					
Zakázka																																					
Popis projektu	Diplomová práce																																				
Číslo výkresu																																					
Typ																																					
Místo instalace																																					
Projektoval																																					
Zpracoval	Martin ČERNÝ																																				
Kontroloval																																					
Schválil																																					
Začátek projektu	14.12.2020																																				
Poslední změna	05.04.2021 od (zkratka) cerny																																				
Počet stran 19																																					
<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td>Datum</td> <td>03.01.2021</td> <td rowspan="3">Diplomová práce</td> <td rowspan="3">Martin ČERNÝ</td> <td rowspan="3"></td> <td rowspan="3"></td> <td rowspan="3">=</td> <td>Předch.:</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Zprac.</td> <td>Martin ČERNÝ</td> <td>Násled.:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Změna</td> <td>Datum</td> <td>Název</td> <td>Schválil</td> <td>List č.</td> <td>1</td> </tr> </table>												Datum	03.01.2021	Diplomová práce	Martin ČERNÝ			=	Předch.:	2			Zprac.	Martin ČERNÝ	Násled.:		Změna	Datum	Název	Schválil	List č.	1					
		Datum	03.01.2021	Diplomová práce	Martin ČERNÝ			=	Předch.:	2																											
		Zprac.	Martin ČERNÝ						Násled.:																												
Změna	Datum	Název	Schválil						List č.	1																											

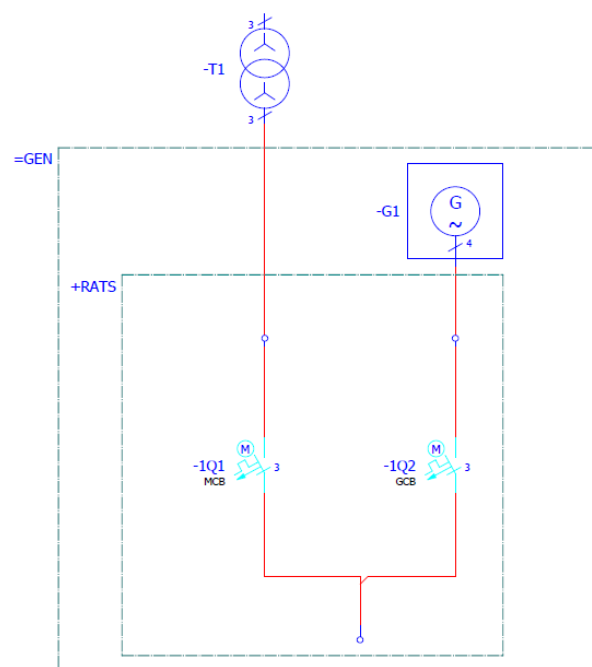
Obsah

Zařízení	Místo instalace	Stránka	Popis stránek	Doplňkové pole stránky	Datum	Zpracoval
		1			03.01.2021	cerný
		2	Obsah		05.04.2021	cerný
		3	Jednopolové zapojení		05.04.2021	cerný
		4	Jednopolové zapojení		05.04.2021	cerný
GEN	RATS	5	Sílové obvody		05.04.2021	cerný
	RATS	6	iG-NT přehled		05.04.2021	cerný
	RATS	7	IG-NT_reference		05.04.2021	cerný
	RATS	8	iG-NT Binární vstupy 1		05.04.2021	cerný
	RATS	9	iG-NT Binární vstupy 2		05.04.2021	cerný
	RATS	10	iG-NT Binární výstupy 1		05.04.2021	cerný
	RATS	11	iG-NT Binární výstupy 2		05.04.2021	cerný
	RATS	12	iG-NT Analogové vstupy		05.04.2021	cerný
	RATS	13	iG-NT Analogové výstupy		05.04.2021	cerný
	RATS	14	Řízení otáček a buzení		05.04.2021	cerný
	RATS	15	iG-NT Napájení		05.04.2021	cerný
	RATS	16	Ovládání jističe 1Q1		05.04.2021	cerný
	RATS	17	Ovládání jističe 1Q2		05.04.2021	cerný
	RATS	18	Připojení GEN		05.04.2021	cerný
	RATS	19	Buzení a předehřev		05.04.2021	cerný

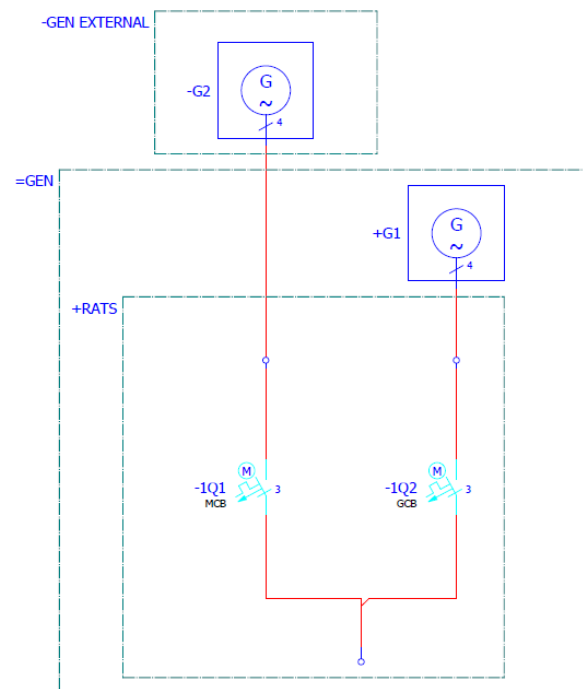
83

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Aplikace MINT

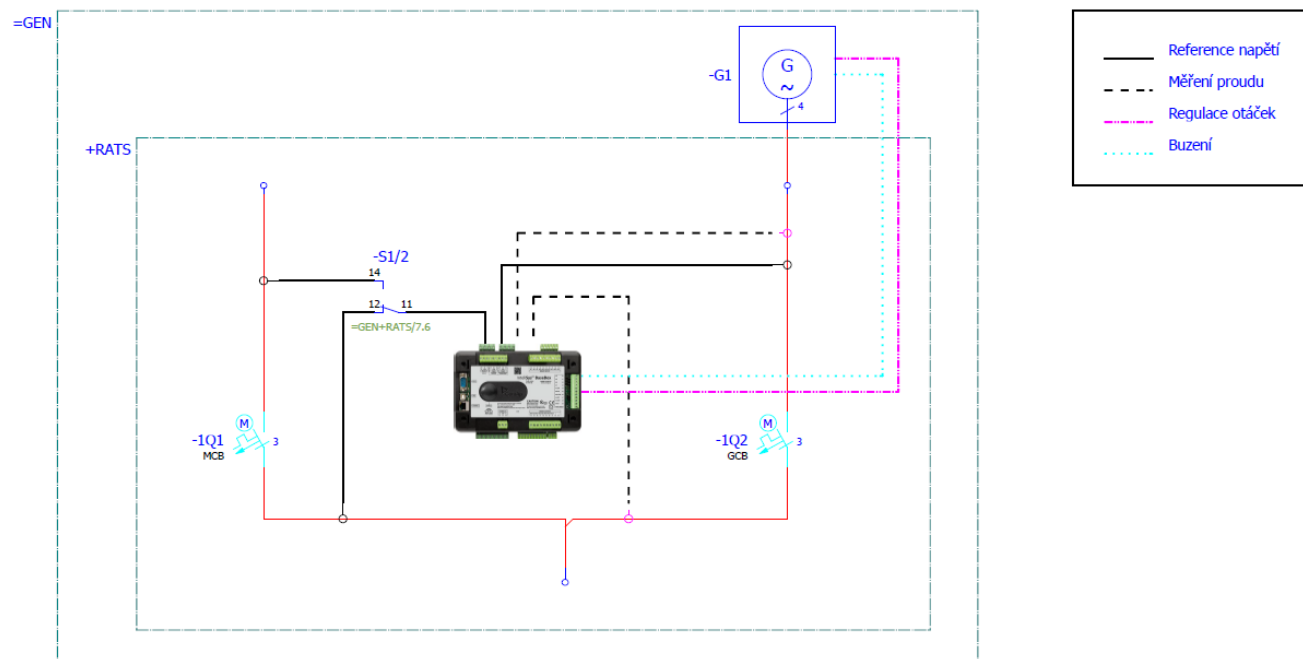


Aplikace SPM

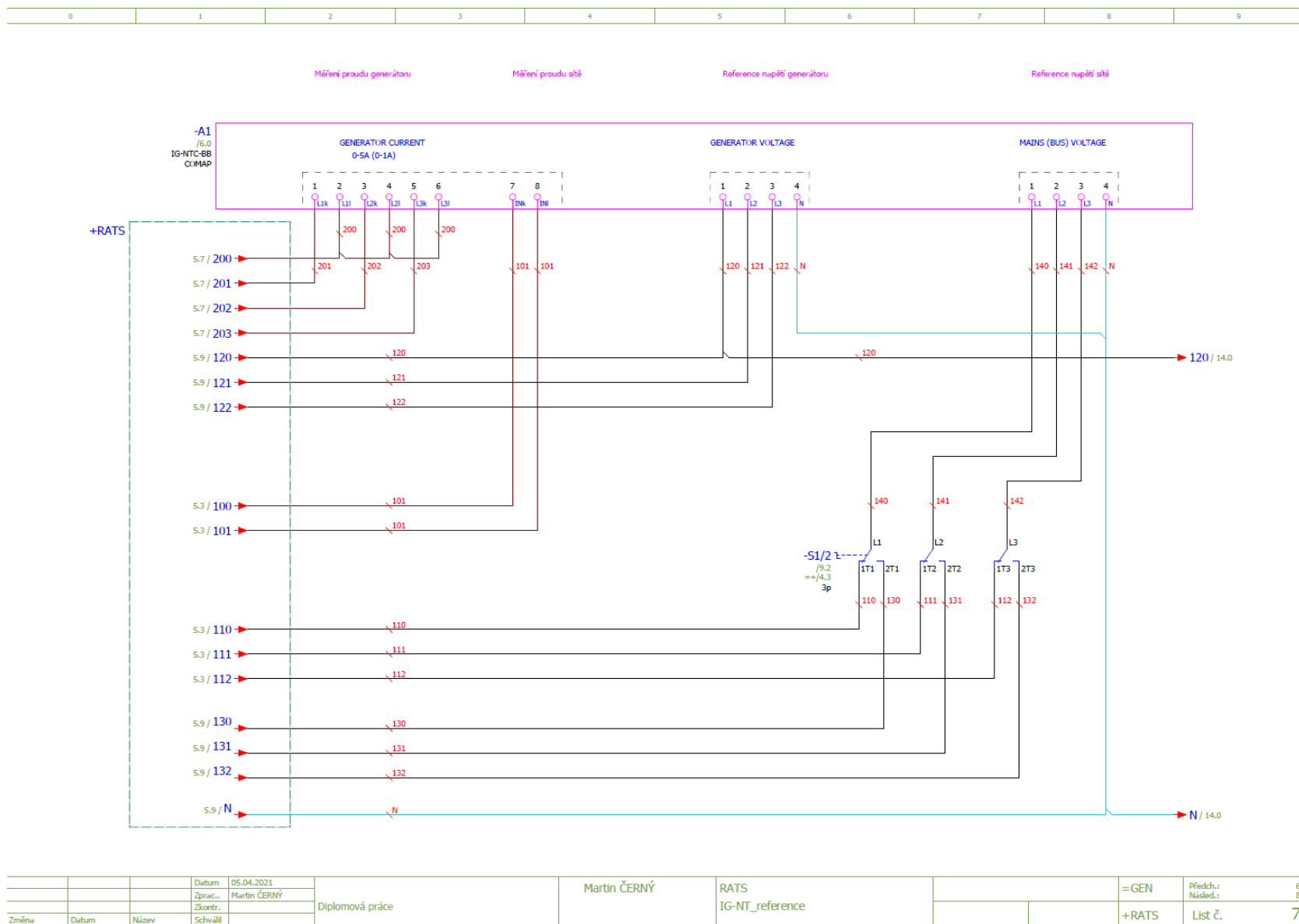


			Datum	05.04.2021		Martin ČERNÝ			=	Předch.:	2
			Zprac.	Martin ČERNÝ						Násled.:	4
			Zkont.		Diplomová práce		Jednopolové zapojení-MINT,SPM				
Změna	Datum	Název	Schválil						+	List č.	3

			Datum 05.04.2021	Martin ČERNÝ	Martin ČERNÝ	Jednopolové zapojení-měření		=	Přechod: Následí: = GEN + RATS/5	3		
			Zprac. Zkontrol.							+	List č.	4
Změna	Datum	Název	Schválí									







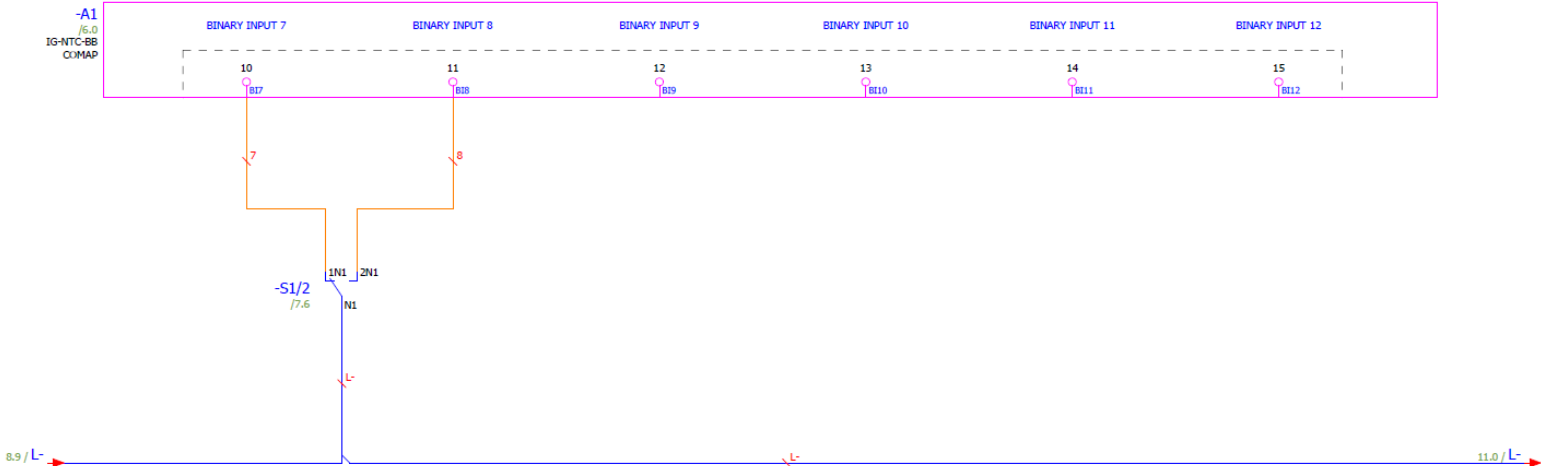
Pežim MINT

Rezerva

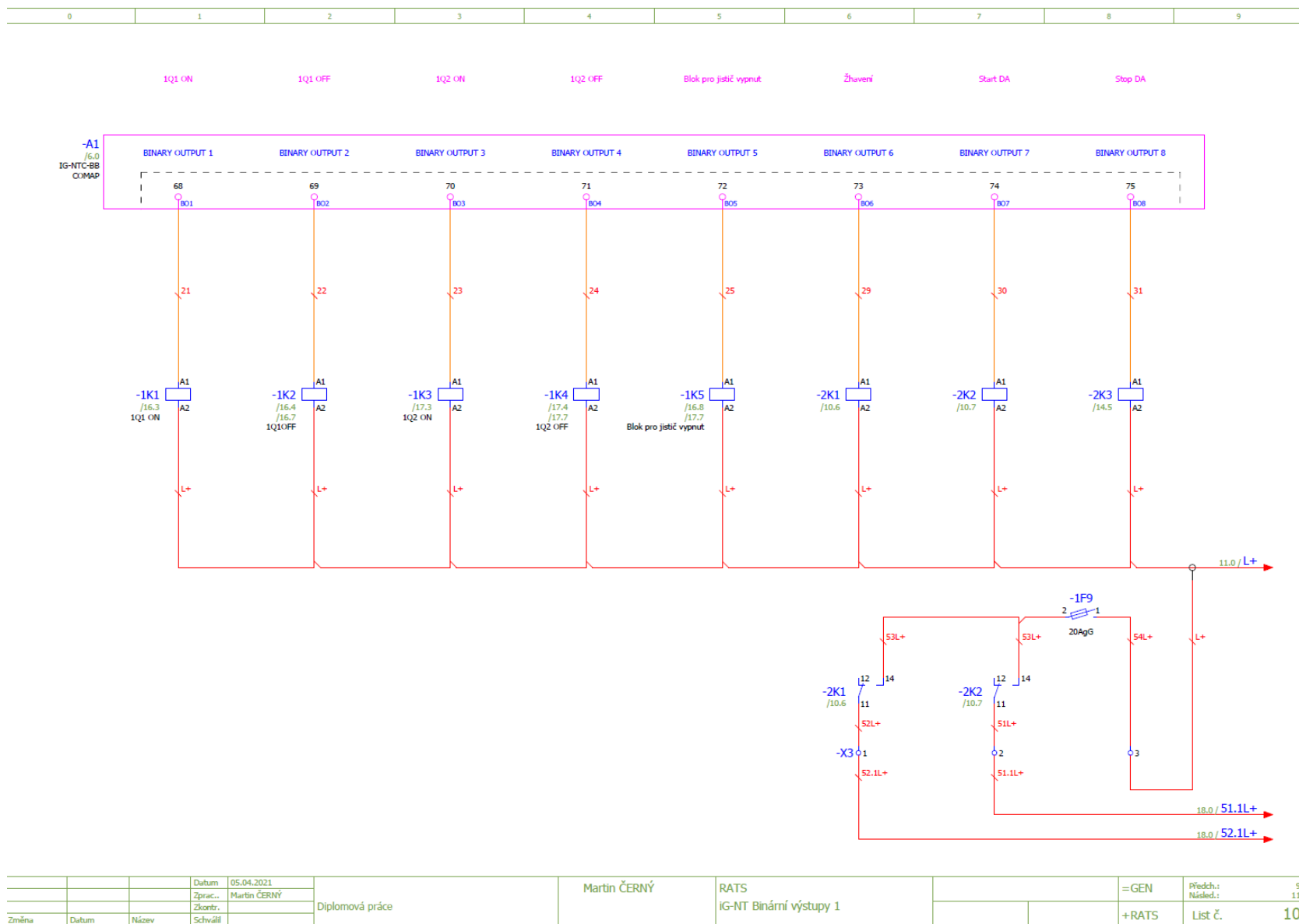
Rezerva

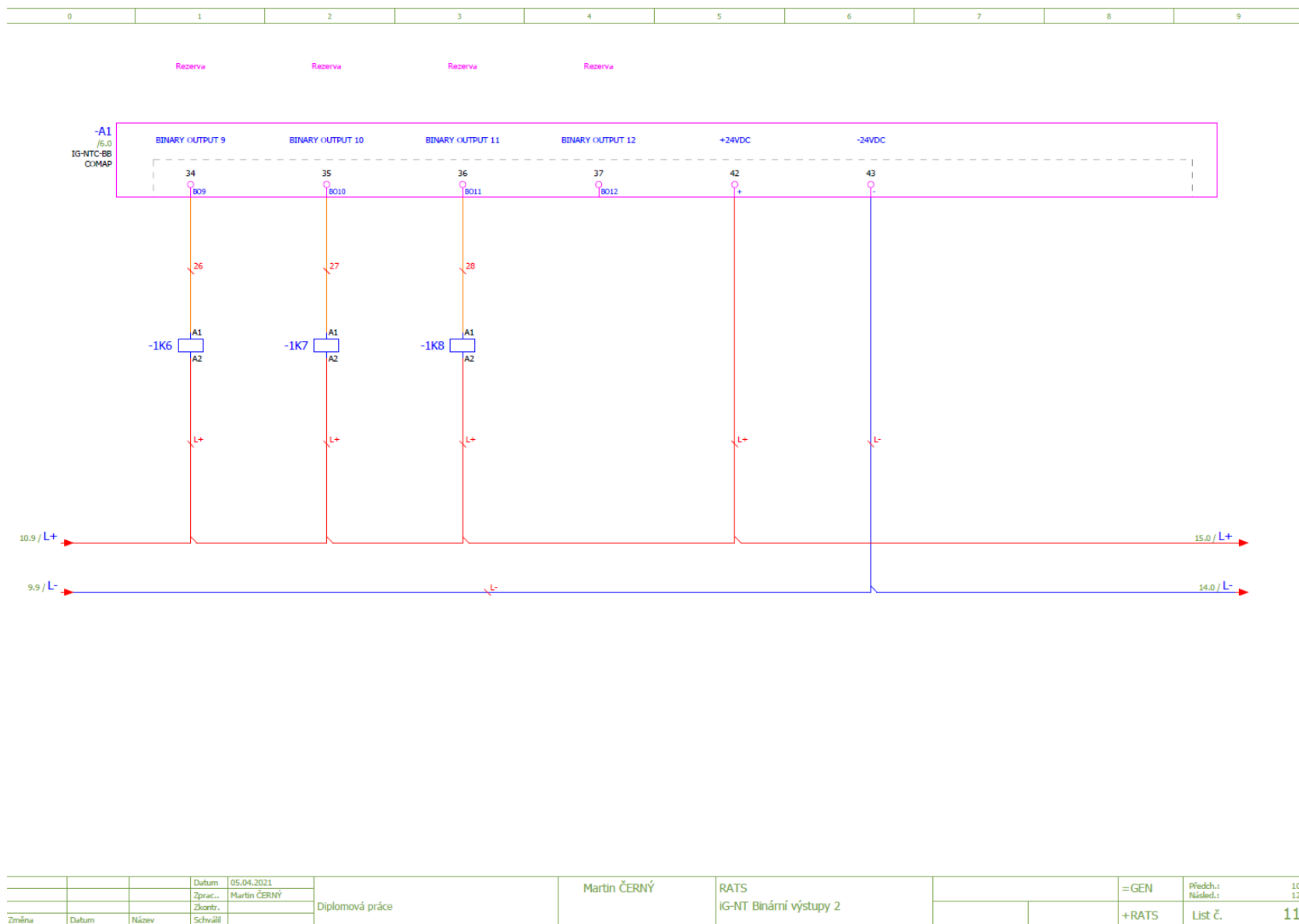
Rezerva

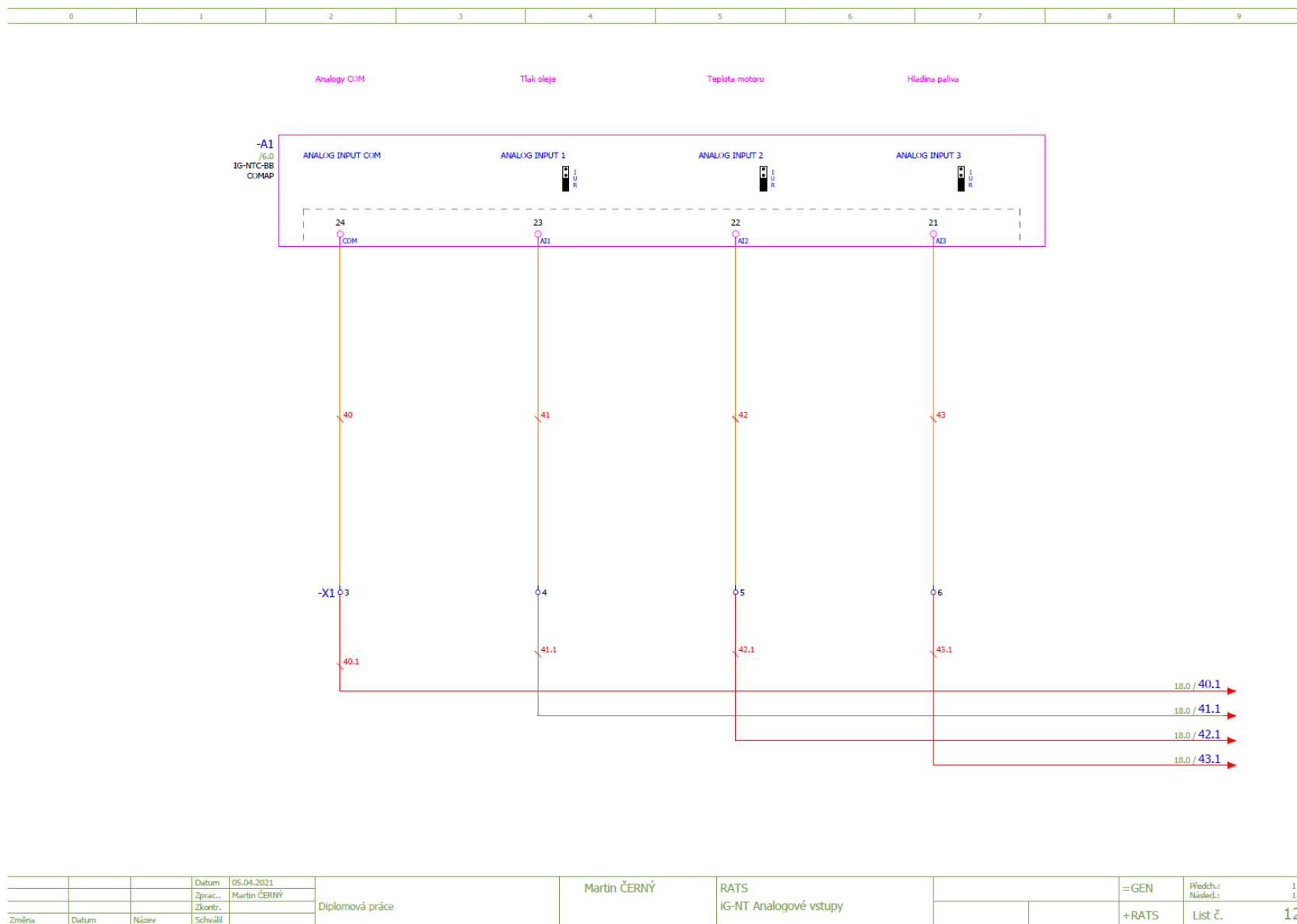
Rezerva

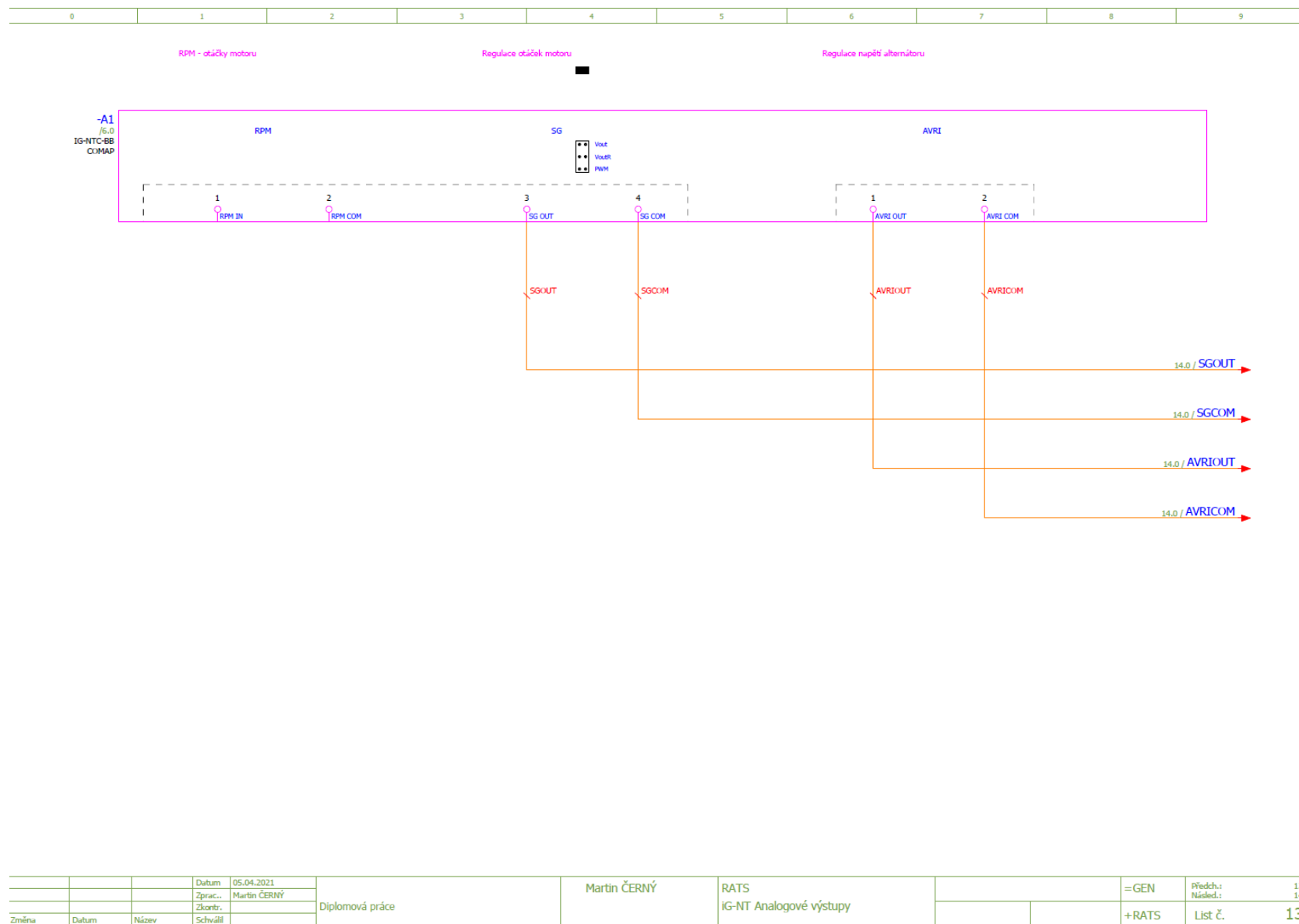


			Datum Zprac... Zkont...	05.04.2021 Martin ČERNÝ	Diplomová práce	Martin ČERNÝ	RATS IG-NT Binární vstupy 2			= GEN	Předch.: Násled.:	8 10
Změna	Datum	Název	Schválil								+RATS	List č.









Datum	05.04.2021
Zprac.	Martin ČERNÝ
Zkont.	
Schválil	

Změna	Datum	Název	Schválil

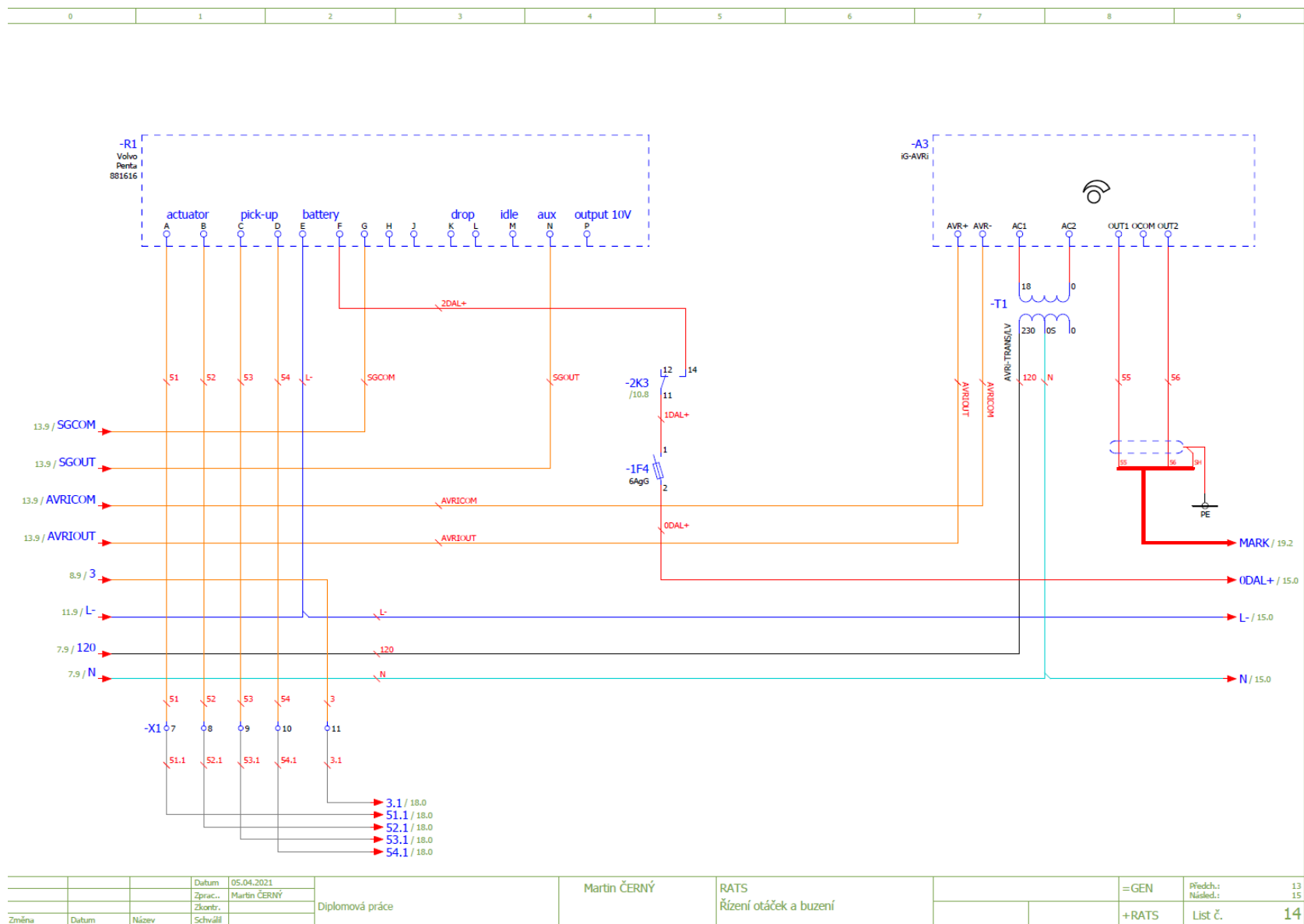
Diplomová práce

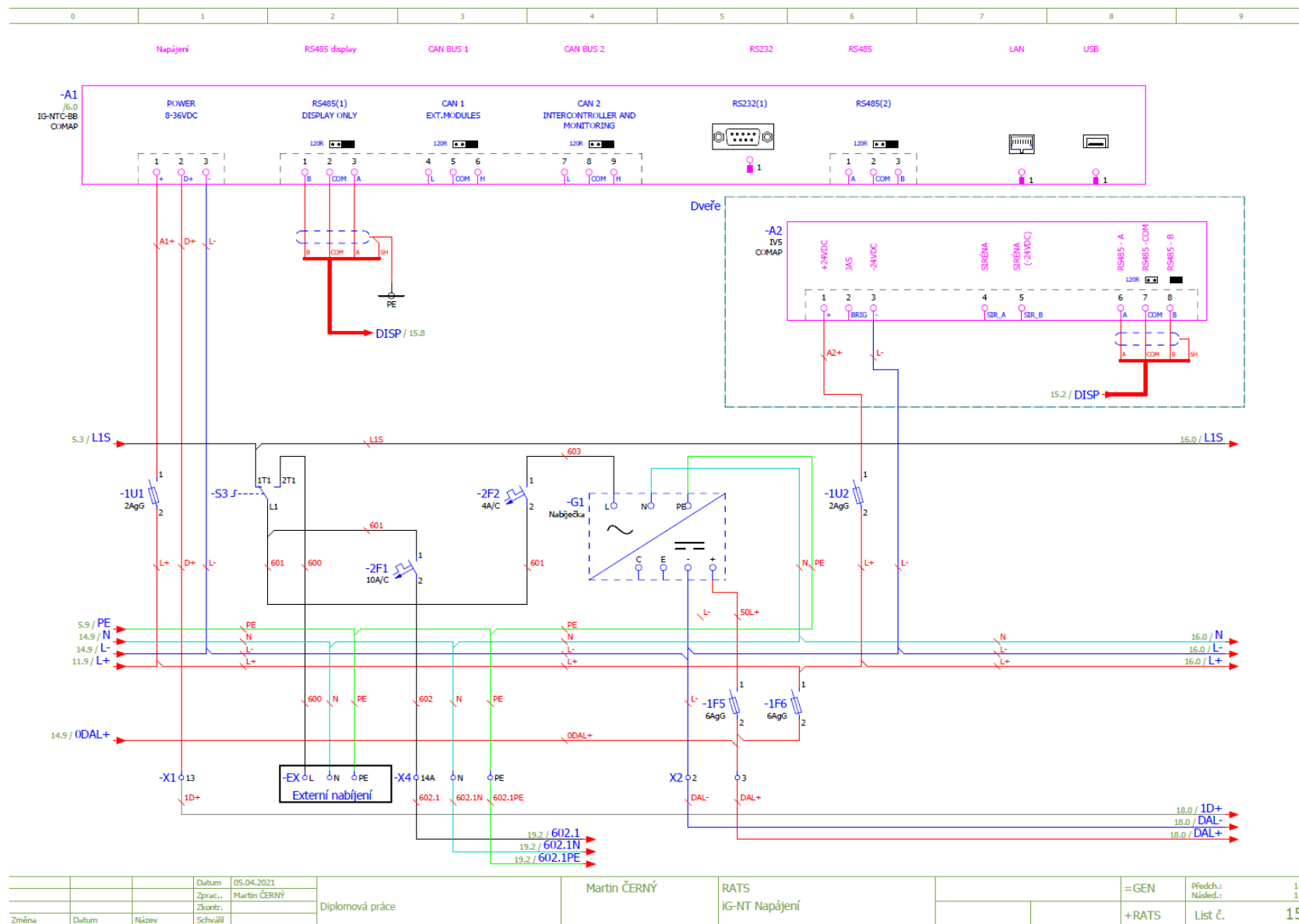
Martin ČERNÝ

RATS IG-NT Analogové výstupy

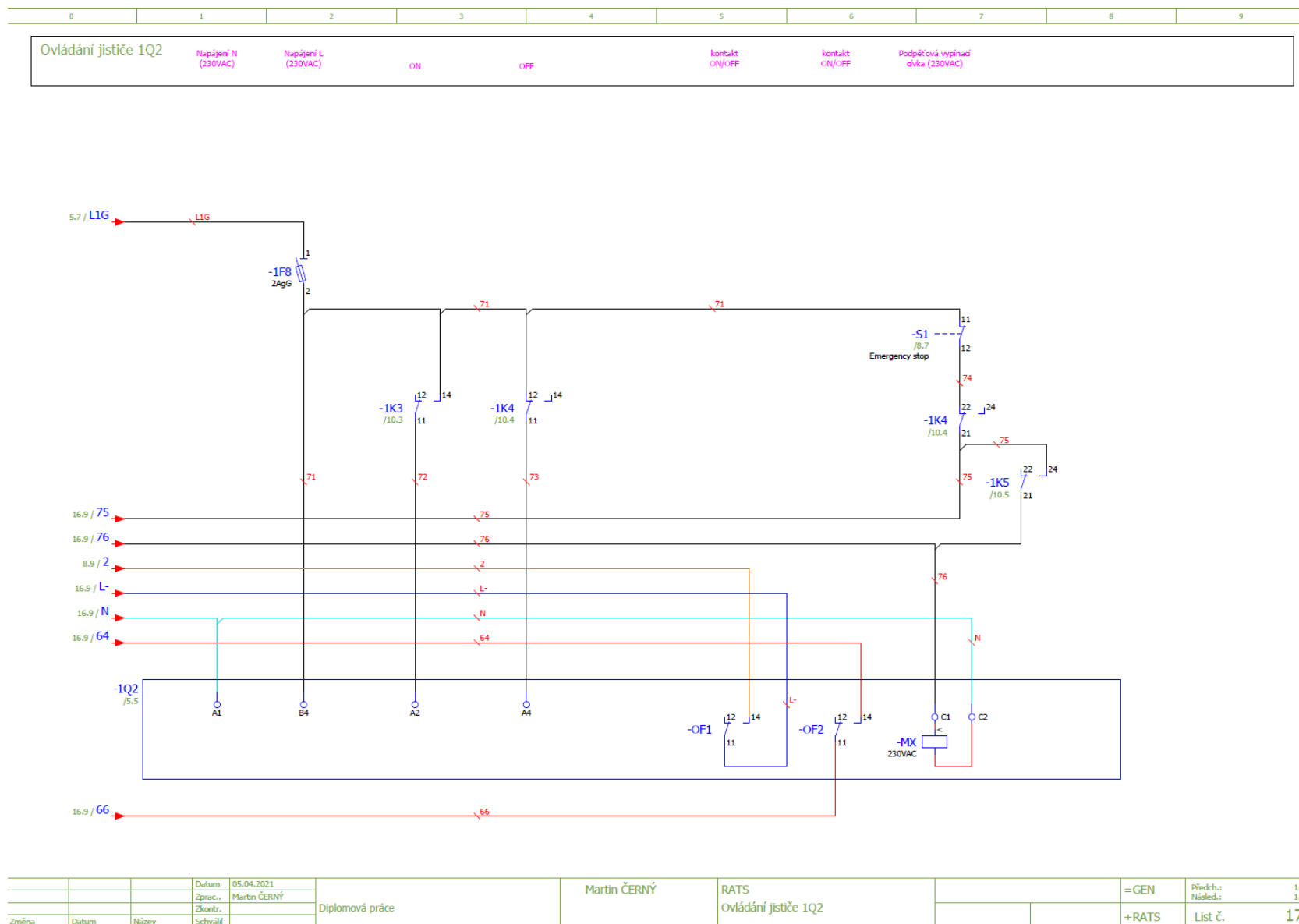
= GEN
+ RATS

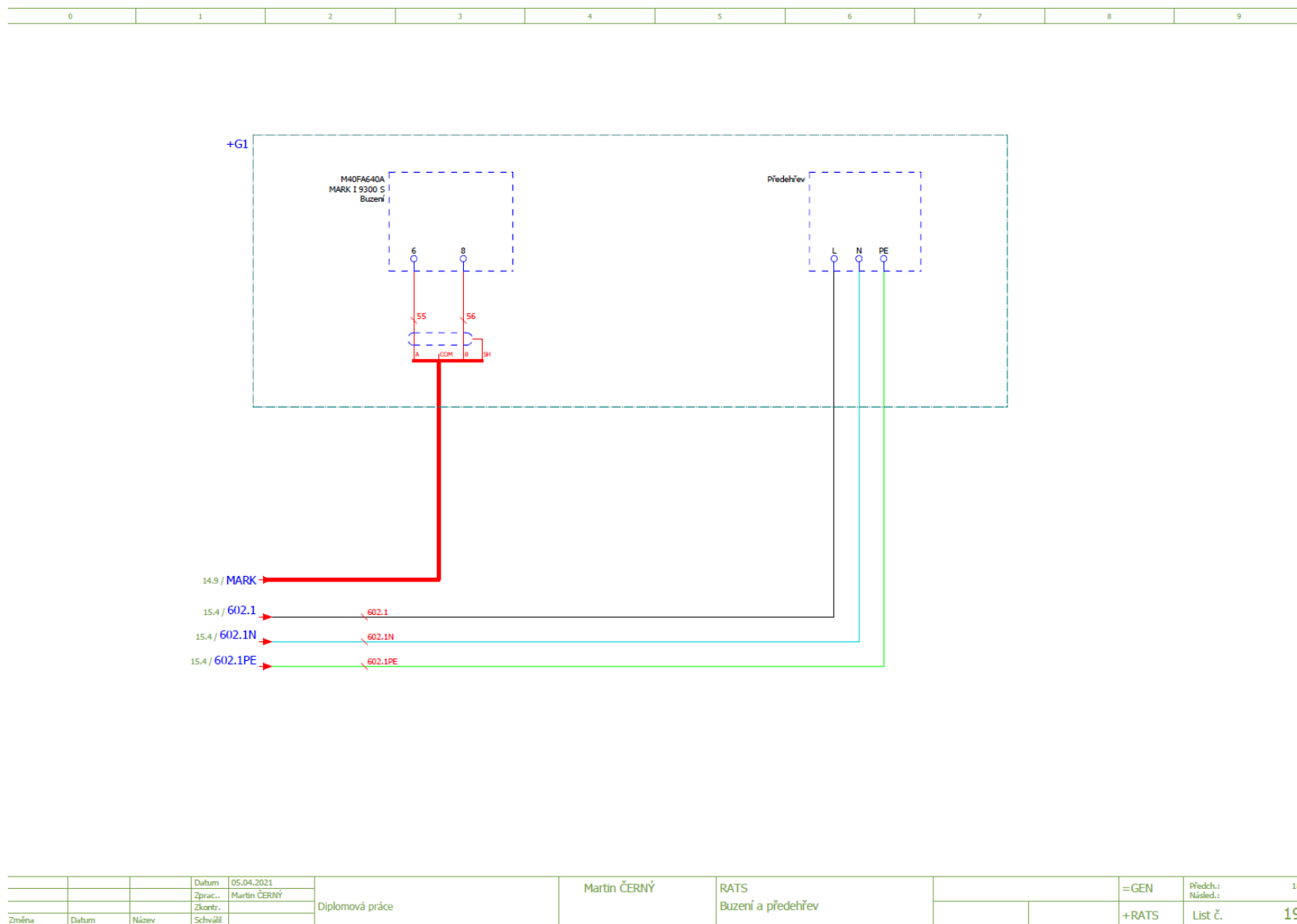
Předch.: Násled.: List č.
12 14 13





			Datum	05.04.2021	Diplomová práce	Martin ČERNÝ	RATS Ovládání jističe IQ1				=GEN	Předch.:	15
			Zprac.	Martin ČERNÝ								Násled.:	17
			Zkontrol.										
Změna	Datum	Název	Schválil								+RATS	List č.	16





Příloha B - Přiložené CD

- **Program pro řídicí jednotku – GEN_SPtM-MINT_275kVA.ant**
- **Zaznamenané průběhy testování (možné zobrazit ve WinScope)**
 - **2005144.STD**
 - **2005146.STD**
 - **2005148.STD**
 - **2005149.STD**